ISSN 2077-6810

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ

SCIENCE PROSPECTS

№ 4(199).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:

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха

Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

Технология и организация строительства

Архитектура, реставрация и реконструкция

Управление жизненным циклом объектов строительства

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

Шувалов 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 Умматович – 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

Запивалов 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

Джаманбалин 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

Апухтин А.М., Прокофьев П.А. Операционализация качества научных гипотез: анализ покрытия свойств современными метриками оценки LLM-генерирования 12
Артюшкин О.В. Элементы кортежного моделирования в системном анализе функционирования автоматизированных обучающих систем 16
Асланов Т.Г., Штанчаев Х.Б., Магомедов И.С. Нейросетевое прогнозирование учебных результатов при дисбалансе классов 20
Елизов М.Ю., Артюхов С.Л. Метод динамического преобразования кодограмм в информационных системах предприятий 27
Iglin M.O., Sviridova E.A., Sviridov A.N., Shchagin A.V. Architecture of an Automated Management Decision-Making System Based on Speech Analytics..... 35
Коваленко В.С., Итс Т.А. Применение искусственного интеллекта и графового метода для планирования и организации учебного процесса 41
Колдунова И.Д., Лихачев В.В., Астапчук В.А., Егоров А.А. Применение технологий искусственного интеллекта для решения задач автоматизации сбора и анализа данных 45
Колистратов М.В., Бахаров Л.Е., Аристова П.С. Нейрофизиологические детерминанты поведения человека в контексте информационной безопасности: анализ уязвимостей и перспективы защиты..... 51
Мурзин Д.В., Панфилов А.Н. Методы интеллектуальной визуализации агрегированных данных в системах поддержки принятия решений..... 58
Панеш Т.М., Коваленко А.В., Шарпан М.В. Искусственный интеллект в системах поддержки принятия решений для логистики и цифровой торговли: обзор гибридных, объяснимых и человекоориентированных подходов 62
Панеш Т.М., Коваленко А.В., Шарпан М.В. Формализация управленческого контура искусственного интеллекта в логистике и цифровой торговле 69
Си Ту Тант Син, Портнов Е.М., Аунг Чжо Мьо Модель двухэшелонной системы управления запасами при пуассоновском спросе и упущенных продажах 74
Портнов Е.М., Слюсарь М.В. Разработка математической основы и методов повышения отказоустойчивости автоматизированных систем энергетического тестирования 80
Чередниченко И.Л., Сурина А.В. Концепция управления составом портфеля проектов научно-исследовательских подразделений 89
Шестаков Д.Д., Спицына А.А., Ким А.М., Курашкин С.О. Автоматизированное выявление рисковых арендных схем использования контрольно-кассовой техники на основе методов машинного обучения и анализа фискальных данных..... 94

Автоматизация и управление

Барышникова Н.Ю., Балса Алдрин, Васильченко Д.С. Трансформация инженерного образования в эпоху Обучения 4.0: от виртуальных моделей к удаленным лабораториям 100
Кривоногов Д.Ю., Чистяков И.А., Калитин Д.В. Устранение эффектов фазового сдвига в контуре управления мобильного робота при RL-навигации методом обучения с моделируе-

Содержание

мыми задержками и историей наблюдений 105
Никишечкин А.П., Родионов Д.С., Петровичева А.С., Поляк Р.В. Улучшение эффективности процесса изучения искусственных нейронных сетей с помощью специализированного ПО 110
Рудых А.В. Энергосбережение в сооружениях защищенного грунта при автоматизации электрообогрева 118
Саломатин А.П., Гаскаров В.Д., Каторин Ю.Ф. Автономные решения для дистанционного обучения в условиях ограниченного доступа к интернету 122
Саломатин А.П., Гаскаров В.Д., Каторин Ю.Ф. Симбиотический интеллект: от дихотомии «божество – раб» к архитектуре партнерства на принципах эпистемологического смирения 127
Тшипунгу Э.А., Темкин И.О. Моделирование системы автоматического регулирования уровня жидкости в резервуаре хвостохранилища с использованием ПИД-регулятора и преобразователя частоты 133
Тырышкин С.Ю. Исследование аналоговой эмуляции квантовых вычислений с использованием квадратурной модуляции 140
Чистяков И.А., Кривоногов Д.Ю., Калитин Д.В. Улучшение робастности RL-навигации мобильных роботов путем интеграции моделей шумов 2D-лидара в процесс обучения 148

Математическое моделирование и численные методы

Акишин Е.А., Кузина В.В. Применение методов машинного обучения для оптимизации систем массового обслуживания на примере автозаправочных станций 154
Гуреев В.М., Царапкин Р.А., Круглов А.М. Спектральный анализ структурной устойчивости самоорганизующихся сетей БПЛА (FANET) в условиях стохастической мобильности узлов 161
Добронец Б.С., Попова О.А., Абрамов М.А. Применение разложения Карунена – Лоэва для вычисления неопределенных вероятностей 166
Максеев А.Е., Жигалов М.В. Упругопластическое деформирование 3D-перфорированных пластин из чугуна 172
Пырков Д.Д., Кузина В.В. Математическое моделирование процессов сопряженного тепло- и влагопереноса в керамзитобетонных ограждающих конструкциях с учетом конденсации 177
Федоров В.Б., Харламов С.Г. Восстановление размытых изображений с использованием TV-регуляризации на основе алгоритма Split Bregman 183
Яблонский Д.Д., Яблонский Д.В. Математическая модель нейрона: как Алан Ходжкин превратил биологию в точную науку 189
Якушов А.В., Кузина В.В. Методы учета нестационарности временных рядов в нейронных сетях: адаптивная стационаризация 194

Содержание

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха

Фокин В.М., Нестеренко С.В., Стефаненко И.В., Федоров В.В. Теплоснабжение, паро- и водоснабжение объектов нефтегазоконденсатных месторождений (новые варианты) 199

Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

Галимов И.М., Коньков В.А., Гринаковский С.Д., Московкина У.О. Оценка технических параметров трасс воднотранспортного соединения с тоннелем между Каспийским морем и Персидским заливом 205
Левин В.О., Козлова О.Л. Анализ одиночных и взаимодействующих водозаборов в сложных гидрогеологических условиях (на примере водозаборного узла в с. Усть-Серта) 215
Чернятин Д.В., Харичкин А.И., Драницын А.В., Афанасьев Н.А. Экспериментальные исследования взаимодействия анкеров различной длины с песчаным грунтом 225

Технология и организация строительства

Гайдуков П.В., Воронкова О.В. Особенности применения многослойных блоков при возведении конструкций стен в индивидуально-жилищном строительстве 234

Архитектура, реставрация и реконструкция

Аверкиев В.А. Архитектурные тенденции высотного строительства 240
Шамаева Т.В., Подколзина Н.С. Гиперболическая форма покрытия стационарных цирков: от истоков до наших дней 247

Управление жизненным циклом объектов строительства

Абас М.Х., Олейник П.П. Построение модели прогнозирования продолжительности монтажа инженерных систем высотных зданий 256

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Теория и методика обучения и воспитания

Быкова А.Е. Оценка уровня развития ритмико-интонационной стороны речи у обучающихся с нарушениями слуха младшего школьного возраста 260
Васильев В.А., Сентизова М.И., Шергин Г.Н., Решетникова В.И. Изучение традиционных видов борьбы, присущих тюркским народам, таких как хапсагай, казахша-курес, калмак курош, монгол бох, бухе-барилдаан и хуреш 264
Воробьева С.А. Подготовка магистрантов-музыкантов к управлению качеством образования в учреждениях дополнительного образования 268
Друзьянов И.И. Использование якутских национальных видов спорта в учебном процессе по элективным дисциплинам физической культуры и спорта в СВФУ 273
Елаева Е.Е., Мамаев А.Р., Морозкина А.И., Ануфриев К.С. Динамика сформированности прикладных навыков у студентов физкультурного факультета в процессе обучения 277
Жильцова Ю.В. К вопросу коррекции межличностных отношений в среде осужденных 281
Mohseni N.F., Bukach O.V. Developing University Students' English Listening Skill Through

Содержание

Flipped Classroom and Metacognitive Strategies: Conceptual Foundations..... 285
Никишкин М.В., Табаков С.Е. Оценка уровня координационной подготовленности студентов-самбистов на этапе начальной подготовки 290
Рожков С.В., Аношкина О.Б., Анашкина Е.В., Чуйкова О.Г. Актуальные методики формирования коллективной сплоченности среди студентов в процессе занятий физической культурой 294
Ряхмятуллов А.Р., Шуняева Е.А. Интеграция специализированных боксерских упражнений в структуру занятий по физической культуре в высшем учебном заведении..... 298
Сафонов Е.А., Рожков С.В. Адаптация специализированных фитнес-упражнений для интегрированного применения на занятиях по физической культуре в вузе..... 301
Четвертнов Д.Н., Пинчук И.А. Формирование математической грамотности интерактивными средствами: приемы и методы, их достоинства и недостатки 305

Профессиональное образование

Бочарин И.В., Гурьянова А.М., Борисов Н.А., Полебенцев С.Н. Типы вегетативной регуляции у студентов различных спортивных специализаций 310
Ван Юаньхуэйцзэ, Савенкова Е.В. Нормативно-ценностные аспекты применения генеративного искусственного интеллекта в педагогическом образовании..... 314
Васильева Л.Г., Ильина С.В., Ильина Е.А. Внутренняя оценка качества образования как механизм мониторинга удовлетворенности участников образовательного процесса в вузе 321
Грязнова Е.В., Потатина Л.П., Потатин А.Г. Противоречия молодежной политики основных институтов социализации в России 325
Дубовер Д.А. Медийно-информационная грамотность как компонент профессиональной подготовки будущего инженера 329
Ермоченко А.И. Имитационная деловая игра «Модель ООН» как педагогическая технология формирования компетенций устойчивого развития у студентов технического университета 333
Загороднюк А.Н., Маракушина И.Г., Старостина Е.Н. Психолого-педагогический портрет современного учителя начальных классов 340
Мамаева К.С., Щеглова А.В., Трунов Н.Н. Методика преподавания теоремы запаздывания в технических вузах для решения прикладных задач..... 345
Петрова И.Н., Петрова А.В. Карьерные ожидания и реальность рынка труда: сравнительный анализ ценностных ориентаций студентов инженерных и педагогических специальностей..... 350
Пронина М.В., Голдаев В.А., Клепиков Р.А., Трикула Л.Н. Формирование технологической готовности будущих педагогов к использованию технологий искусственного интеллекта в обучении школьников на материале дисциплины «Теория обучения и воспитания» 356
Сатарова Л.Х., Мусина Г.Ф. Полилингвальная образовательная среда вуза: педагогические исследования 360
Северьянова М.И., Аргунова С.В. Эффективность адаптированной программы производственной гимнастики в профилактике гиподинамии офисных работников..... 364
Филин С.В., Маркин Н.И. Педагогическая модель частичной интеграции искусственного интеллекта в образовательный процесс современного высшего учебного заведения: концепция и прогнозируемые результаты..... 368

УДК 004

ОПЕРАЦИОНАЛИЗАЦИЯ КАЧЕСТВА НАУЧНЫХ ГИПОТЕЗ: АНАЛИЗ ПОКРЫТИЯ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫМИ МЕТРИКАМИ ОЦЕНКИ LLM-ГЕНЕРИРОВАНИЯ

А.М. АПУХТИН, П.А. ПРОКОФЬЕВ

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»;
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

Ключевые слова и фразы: большие языковые модели; генерация гипотез; оценка качества; метрики; операционализация; *HypoBench*; *TruthHypo*; *LLM*-генерация; гипотезогенерация.

Аннотация: В статье рассматривается проблема операционализации качества научных гипотез, генерируемых большими языковыми моделями. Показано, что используемые в литературе метрики оценки покрывают лишь ограниченное подмножество свойств качества и допускают различные интерпретации, что приводит к несопоставимости результатов между работами. Предлагается концептуальная модель качества гипотезы как вектора четырех свойств: *truthfulness* (правдивость), *groundedness* (обоснованность), *novelty* (новизна) и *testability* (проверяемость). На основе анализа 14 основных метрик оценки гипотезогенерации, применяемых в бенчмарках *HypoBench*, *TruthHypo*/*KnowHD* и других, выявлено: отсутствие метрик для *testability* и *mechanism-level* оценки, независимость метрик при наличии *trade-offs* (компромиссов) между свойствами качества. Результаты показывают необходимость стандартизации отчетности об используемых метриках и явного описания того, какие свойства качества оцениваются в каждой работе.

Введение

Применение больших языковых моделей (*LLM*) для автоматической генерации научных гипотез представляет собой быстро развивающееся направление в области искусственного интеллекта и компьютационной науки [1; 4].

За последние годы авторы предложили множество инновационных подходов для повышения качества генерируемых гипотез: от базовых техник промптирования до сложных многоагентных архитектур с интеграцией внешних источников знаний и системой обратной связи [1; 14; 15]. Эти разработки, включая исследования в области нейросетевых методов и глубинного обучения, фундаментальное развитие которых в России осуществляли ученые, в частности В.В. Сулимов, указывают на значительный прогресс в применении методов машинного обучения к задачам генерирования и оценки научных гипотез [15].

Однако, несмотря на активное развитие методов, авторы данной статьи отмечают, что одной из основных проблем является определение качества генерируемой гипотезы, а также его привязка к конкретному эксперименту. При этом качество научной гипотезы существенно зависит от контекста задачи и цели исследований [1; 2].

Литература по гипотезогенерации демонстрирует значительную разнородность в выборе метрик оценки эффективности процессов. Одни исследовательские работы ориентируются на метрики корректности (*accuracy*, *F*1-*score*) [5; 14], другие акцентируют внимание на новизне (семантическое разнообразие относительно известных гипотез) [6; 15], третьи оценивают обоснованность (*groundedness*) через анализ поддержки знанием и источниками [2; 14].

В существующей литературе отсутствует явное определение аспектов качества гипотезы, измеряющихся каждой метрикой, либо остающихся вне поля измерения [1; 2]. Авторы различных работ часто не обосновывают выбор используемых метрик, что существенно затрудняет сравнение результатов между исследованиями [1; 2; 13].

Анализ научных работ, приведенных в статье, показывает, что при организации экспериментов учеными выбираются разные метрики без явной мотивации выбора, что затрудняет сравнение результатов между исследованиями. Проблема усугубляется тем, что формально аналогичные задачи фактически измеряют различные и часто ортогональные аспекты качества.

Например, один метод может демонстрировать высокую точность относительно *ground truth* (эталонных данных), но генерировать малоновые гипотезы; другой – высокую новизну, но низкую степень обоснованности. Вывод о том, какой метод является «лучшим», оказывается зависимым от выбора метрик оценки, что часто остается неявным в публикациях и затрудняет воспроизводимость исследований [1; 13].

Авторы считают, что вышеуказанная проблема заслуживает отдельного внимания, поскольку влияет на проведение эксперимента и последующего результата.

Концептуальная модель

В данной статье (это же определение высказано у А. Гашеми) под научной гипотезой понимается декларативное предложение, в котором исследователи предсказывают ожидаемый ответ на исследовательский вопрос на основе имеющихся знаний и допущений. Проверяемое, предварительное и обоснованное (но еще не доказанное) объяснение проблемы или наблюдаемого явления на основе частичных свидетельств, и что это утверждение, которое может быть эмпирически проверено [8]. Из этого определения следует обязательность проверки научной гипотезы как фундаментального положения научного требования.

В зависимости от методов проверки гипотез различными учеными предлагается ввести уровни их детализации, требующие советующих походов к оценке качества результатов экспериментов [1].

В научной литературе выделяются следующие уровни.

- Уровень утверждений (*Claim-level*) – это атомарное утверждение, которое может проверяться отдельно и рассматривается как минимальная единица оценки (пример: «протеин *A* взаимодействует с протеином *B*») [1]. На этом уровне метрики проще всего применять, так как утверждение либо верно, либо неверно [1].
- *Relation-level* (уровень связей) – это утверждение о наличии или типе связи между объектами/концептами (пример: «связь типа ингибирования») [1]. На этом уровне оценка усложняется, потому что необходимо идентифицировать как саму связь, так и ее тип [1].
- *Mechanism-level* (уровень механизмов) – это утверждение о механизме или причинной структуре явления, включающее условия применимости, цепочку промежуточных факторов и объяснительную глубину (пример: «при повышении *pH* протеин *A* конформационно изменяется, что приводит к снижению его сродства к протеину *B*») [1]. На этом уровне оценка наиболее сложна, потому что требуется понимание причинных связей и условий [1].

В задачах, связанных с качеством оценки текста (машинный перевод, *summarization* – автоматизированное резюмирование), где есть или может быть единая метрика (*BLEU*, *ROUGE* и т.д.), качество научной гипотезы – многомерный конструкт, не сводимый к одной величине. Это обосновывает утверждение авторов о необходимости применения различных метрик в зависимости от гипотезы [1; 2].

Вместе с тем ряд авторов оперируют несколькими различными критериями качества [1; 2], при этом в научных работах наблюдается отсутствие согласованности.

В соответствии с принятыми методами проведения эксперимента [1], для установления объективности в экспериментах, нами предлагается использовать следующую формулу:

$$Q(h) = (q_{truth}(h), q_{ground}(h), q_{novel}(h), q_{test}(h)),$$

где $Q(h)$ – вектор свойств качества, показывающий объективность эксперимента; q_{truth} – *truthfulness*/*correctness* (правдивость/корректность) – соответствие гипотезы известным фактам или контрольному знанию [2; 5]. Это свойство отвечает на вопрос: «Верна ли гипотеза согласно известным знаниям?» [1; 2]; q_{ground} – *groundedness* (обоснованность) – обо-

снованность гипотезы поддержкой из контекста или внешних источников знаний [2]. Это свойство отвечает на вопрос: «Поддерживается ли гипотеза доступными знаниями?» [2]; q_{novel} – *novelty* (новизна) – нетривиальность гипотезы относительно установленного знания [1; 3; 6]. Это свойство отвечает на вопрос: «Является ли гипотеза новой или уже известной?» [3; 6]; q_{test} – *testability*/*verifiability* (проверяемость/верифицируемость) – принципиальная проверяемость или *falsifiability* (опровергаемость) гипотезы [8; 9]. Это свойство отвечает на вопрос: «Можно ли проверить гипотезу экспериментом?» [8; 9].

Эти четыре свойства выбраны на основе анализа существующих работ [1; 2]:

– *HypoBench* используют *discovery rate*, *explanatory power*, *generalizability* [1];

– *TruthHypo* фокусируются на *truthfulness* [2];

– работы по *novelty* фокусируются на *semantic distance* от *corpus* [3; 6];

– философия науки требует *testability* [8; 9].

Вместе эти свойства покрывают различные аспекты того, что может означать «качество» научной гипотезы [1; 2]. Однако каждое работает с разными аспектами и может не быть полностью независимым от других [1; 3].

Вышеуказанные свойства могут конфликтовать: например, рост *novelty* обычно сопровождается снижением *groundedness* (поскольку новые гипотезы по определению отличаются от известного), и наоборот [1; 3].

Это фундаментальное наблюдение объясняет, почему не существует гипотезы, оптимальной по всем четырем осям одновременно [1; 3].

Определение свойств $Q(h)$, указанных в формуле, зачастую не наблюдаемо напрямую, в задачах оценки гипотезогенерации используются прокси-метрики (метрики-заместители) M_i, каждая из которых ориентирована на одно или несколько свойств [1; 2]:

$$M_i(h) \approx q_*(h).$$

Это отображение неоднозначно и часто неполно.

Метрика может измерять свойство приблизительно, с ошибками или смещением [1; 2].

Например:

– точность (*Accuracy*) на основе *ground truth* (эталонных данных) хорошо измеряет *truthfulness*, но ничего не говорит о *novelty* или *testability* [5];

– оценка новизны (*Novelty score*) на основе косинусного сходства измеряет *novelty*, но может быть ортогональна *truthfulness* [3; 6];

– БЯМ в роли судьи (*LLM-as-judge*) может в принципе оценить все четыре свойства, но имеет собственные смещения (*bias* – систематические ошибки) [5; 7].

Метрики следует рассматривать не как универсальные показатели качества, а как частичные и ограниченные проекции многомерного понятия качества гипотезы [1; 2].

Это ключевое понимание, которое позволяет интерпретировать результаты более критично [1; 2].

Заключение

Таким образом, качество научных гипотез, генерируемых большими языковыми моделями, представляет собой многозначную функцию, которая не может быть адекватно описана единственной метрикой.

Применяемые показатели гипотезогенерации в анализируемых научных работах *HypoBench*, *TruthHypo* имеют недостатки, заключающиеся в отсутствии объективных метрик, оценивающих качество сгенерированных гипотез.

Предложенная авторами модель вектора четырех свойств (*truthfulness*, *groundedness*, *novelty*, *testability*) структурирует существующее разнообразие подходов и позволяет классифицировать используемые в научной литературе метрики.

При этом между четырьмя свойствами качества существуют фундаментальные компромиссы – рост *novelty*, которые обычно сопровождаются снижением *groundedness*, что объясняет невозможность одновременной оптимизации по всем параметрам.

Обобщенная четырехмерная модель предоставляет концептуальную основу для унификации отчетности и критического анализа результатов в области *LLM*-генерации научных гипотез, позволяя исследователям явно описывать, какие именно аспекты качества оцениваются в каждой работе.

Литература

1. Liu, J. HypoBench: Towards Systematic and Principled Evaluation of Hypothesis Generation / J. Liu, H. Huang, X. Wang, et al. – 2025. – arXiv:2504.11524.
2. Xiong, Y. Toward Reliable Scientific Hypothesis Generation / Y. Xiong, et al. // Proceedings of the 30th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2025). – 2025. – arXiv:2505.14599.
3. Ghosal, T. Novelty Detection: A Perspective from Natural Language Processing / T. Ghosal, P.Bedi, S. Chakraborti // Computational Linguistics. – 2022. – Vol. 48(1). – P. 77–135.
4. Ai, L. NOVASCORE: A New Automated Metric for Evaluating Novelty / L. Ai, et al. // Proceedings of the 2025 Conference of the International Committee on Computational Linguistics (COLING). – 2025. – Art. 234. – Available at: aclanthology.org/2025.coling-main.234.pdf.
5. Lin, Z. A Survey on LLM-as-a-Judge / Lin, Z., et al. – 2024. – arXiv: 2411.15594.
6. Zhang, T. BERTScore: Evaluating Text Generation with BERT / T. Zhang, V. Kishore, F. Wu, K.Q. Weinberger, Y. Artzi // Proceedings of the 8th International Conference on Learning Representations (ICLR 2020), 2020.
7. Jain, V. Mitigating the Agreeableness Bias in LLM Judge Evaluations / V. Jain, et al. – 2025. – arXiv:2510.11822.
8. Ghasemi, A. Research Hypothesis: A Brief History, Central Role in Research and How to Formulate It PMC12534748 / A. Ghasemi, et al. // Journal of Education and Health Promotion. – 2025. – Vol. 14(1). – P. 147.
9. Popper, K.R. The Logic of Scientific Discovery / K.R. Popper. – London : Routledge, 1959. [Classical reference on falsifiability and testability].
10. O'Neill, J. An Overview of Interrater Agreement on Likert Scales for Researchers in Primary Care / J. O'Neill, et al. // Journal of Primary Care & Community Health. – 2017. – Vol. 8(3). – P. 206–214. – DOI: 10.1177/2150131917715131.
11. Papineni, K. BLEU: A Method for Automatic Evaluation of Machine Translation / K. Papineni, S. Roukos, T. Ward, W.J. Zhu // Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL), 2002. – P. 311–318.
12. Lin, C.Y. ROUGE: A Package for Automatic Evaluation of Summaries / C.Y. Lin // Proceedings of the Workshop on Text Summarization Branches Out (WAS 2004). – Barcelona : Association for Computational Linguistics, 2004. – P. 74–81.
13. Park, J. MI-CLEAR-LLM: A Minimal, Complete and Learnable Reporting Standard for Medical LLM Applications / J. Park, et al. // Korean Journal of Radiology. – 2024. – Vol. 25(10). – P. 1050–1065. – DOI: 10.3348/kjr.2024.0843.
14. Сулимов, В.В. Нейросетевые методы оптимизации при решении задач генерирования и верификации научных гипотез / В.В. Сулимов, Р.В. Амелин // Известия Российского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена. – 2025. – № 235. – С. 112–128.
15. Ивахненко, А.Г. Комбинированные нейросетевые и эвристические подходы к анализу сложных данных / А.Г. Ивахненко, И.А. Мюллер // Кибернетика и системный анализ. – 2019. – № 55(4). – С. 48–62.

References

14. Sulimov, V.V. Nejrosetevye metody optimizatsii pri reshenii zadach generirovaniya i verifikatsii nauchnykh gipotez / V.V. Sulimov, R.V. Amelin // Izvestiya Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A.I. Gertsena. – 2025. – № 235. – S. 112–128.
15. Ivakhnenko, A.G. Kombinirovannye nejrosetevye i evristicheskie podkhody k analizu slozhnykh dannykh / A.G. Ivakhnenko, I.A. Myuller // Kibernetika i sistemnij analiz. – 2019. – № 55(4). – S. 48–62.

© А.М. Апухтин, П.А. Прокофьев, 2026

УДК 004.942:37.016

ЭЛЕМЕНТЫ КОРТЕЖНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

О.В. АРТЮШКИН

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова», г. Абакан

Ключевые слова и фразы: автоматизированные обучающие системы; кортежное моделирование; системный анализ; адаптивное обучение; взаимодействие компонентов.

Аннотация: Цель статьи – разработка теоретической модели и методики применения кортежного моделирования для системного анализа архитектуры и функциональности автоматизированных обучающих систем (**АОС**). Задачи статьи: разработать систему кортежей для формального описания ключевых компонентов АОС; определить связи и взаимодействия между компонентами АОС; предложить практическую реализацию кортежного подхода для механизмов адаптивного обучения. Гипотеза статьи состоит в предположении, что применение кортежного моделирования позволяет создать целостное, формальное и непротиворечивое описание сложной структуры АОС, что повышает эффективность их системного анализа, проектирования и адаптивного управления. Методы исследования: использование аппарата теории систем и кортежного подхода; проектирование формальных спецификаций кортежей. Достигнутые результаты: разработана комплексная система кортежей для формального описания основных сущностей АОС; предложены детализированные структуры кортежей с семантически насыщенными компонентами; создана модель связей между кортежами, обеспечивающая анализ взаимодействий между компонентами АОС.

Современные автоматизированные обучающие системы (**АОС**) представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, объединяющие разнородные компоненты: учебный контент, средства взаимодействия, системы оценки знаний, адаптивные механизмы и аналитические инструменты [1]. Усложнение архитектуры АОС и повышение требований к их функциональности обуславливают необходимость применения адекватных методов системного анализа, позволяющих формально описывать структуру, функционирование и взаимосвязи компонентов системы [2; 3].

Одним из перспективных подходов к формализации описания сложных систем является кортежное моделирование, которое позволяет представить систему в виде набора формально описанных сущностей (кортежей) и установленных между ними связей [4]. Данный метод обладает значительным потенциалом для применения в области системного анализа АОС, поскольку обеспечивает необходимую строгость и полноту описания при сохранении гибкости модели.

Кортежное моделирование основано на представлении объектов предметной области в виде кортежей – упорядоченных наборов элементов, каждый из которых имеет определенную семантику [5]. Формально кортеж Т можно определить как структуру:

$$TN = (C_1, C_2, \ldots, C_k),$$

где N – множество кортежей $N = 1\ldots n$; С – множество компонентов каждого кортежа $C = 1\ldots k$.

В контексте системного анализа АОС кортежное моделирование позволяет: формализовать описание компонентов системы; установить четкие связи между элементами АОС; обеспечить однозначность интерпретации кортежных моделей АОС; поддерживать целостность описания АОС.

Для построения кортежной модели в АОС выделяются следующие ключевые сущности:

учебные элементы (модули, курсы, задания); пользователи (обучаемые, преподаватели, администраторы); педагогические стратегии и методы; средства оценки и контроля; адаптивные механизмы.

Предлагается система кортежей для формального описания АОС:

$$ST = <<T_1>; <T_2>; <T_3>; <T_4>; <T_5>; <T_6>>,$$

где $<T_1>$ – кортеж «Учебный элемент» с полным условным обозначением: $<T_1$:Учебный_элемент>; $<T_2>$ – кортеж «Обучаемый» ($<T_2$:Обучаемый>); $<T_3>$ – кортеж «Педагогические стратегии» ($<T_3$:Педагогические_стратегии>); $<T_4>$ – кортеж «Образовательные траектории» ($<T_4$:Образовательные_траектории>); $<T_5>$ – кортеж «Адаптивные правила» ($<T_5$:Адаптивные_правила>); $<T_6>$ – кортеж «Состояния обучения» ($<T_6$:Состояния_обучения>).

Кортеж $<T_1$: Учебный элемент> представляется в следующем поликомпонентном виде:

$<T_1$: Учебный_элемент> = < $<C_1T_1$: *ID*_элемента>, $<C_2T_1$: Тип_элемента>, $<C_3T_1$: Содержание>, $<C_4T_1$: Цели_обучения>, $<C_5T_1$: Предварительные_требования>, $<C_6T_1$: Оценочные_критерии>, $<C_7T_1$: Временные_параметры> >,

где $<C_1T_1$:*ID*_элемента> – уникальный идентификатор учебного элемента в АОС (строка или число, которое однозначно определяет данный учебный элемент). Например, «*module*_1_*lesson*_2» – модуль 1, раздел 2, элемент 3; $<C_2T_1$:Тип_элемента> – компонент, определяющий тип учебного элемента. Например, тип «по форме»: «лекция», «практическое задание», «тест», «проект»; тип «по интерактивности»: «пассивный» (только потребление контента), «активный» (взаимодействие с системой) и «интерактивный» (обратная связь в реальном времени); тип по уровню сложности: «базовый», «продвинутый», «экспертный»; $<C_3T_1$:Содержание> – учебный материал, который предстоит освоить обучаемому (текст, интерактивный контент, набор файлов); $<C_4T_1$:Цели_обучения> – формализованное описание того, что должен знать, уметь или понимать обучаемый после завершения работы с этим учебным элементом. Например, «студент должен уметь решать квадратные уравнения» или «студент должен знать основные принципы работы компьютера»; $<C_5T_1$: Предварительные_требования> – список условий, которые должны быть выполнены, чтобы обучаемый мог приступить к изучению данного элемента. Это могут быть: знаниевые (список *ID* пройденных элементов: [«*MODULE*_1.1»]; минимальные баллы за предыдущие тесты: {«*TEST*_01»:70}); компетентностные (навыки, которые должны быть сформированы: [«навык_программирования», «умение_ анализировать»]; временные (завершение предыдущих модулей, определенная дата начала доступа); $<C_6T_1$:Оценочные_критерии> – параметры, описывающие то, как будет оцениваться усвоение учебного элемента (тест, проект, экзамен) и конкретные критерии оценки. Например, для теста это может быть минимальный проходной балл (например, «80 %»), для проекта – рубрика (критерии оценки: полнота, точность, оформление); $<C_7T_1$:Временные_параметры> – параметры, связанные со временем изучения элемента (предполагаемое время на изучение (например, «2 часа»); сроки, в которые должен быть изучен элемент (если есть жесткие временные рамки); время доступности элемента (если элемент доступен только в определенный период); дедлайны, например: «2025-02-15, 23:59:59» (если есть).

Кортеж T_2 «Обучаемый»:

$<T_2$:Обучаемый> = {$<C_1T_2$:*ID*_пользователя>, $<C_2T_2$:Уровень_подготовки>, $<C_3T_2$:Когнитивные_ характеристики>, $<C_4T_2$:История_обучения>, $<C_5T_2$:Текущий_прогресс>, $<C_6T_2$:Предпочтения_обучения>},

где $<C_1T_2$:*ID*_пользователя> – уникальный идентификатор обучаемого в системе: в строковом формате (например, «*STU*_042157») или числовом (например, «550*e*8400-*e*29*b*-41*d*4-*a*716-446655440000»); $<C_2T_2$:Уровень_подготовки> – параметр, содержащий оценки текущих знаний и компетенций обучаемого: {«математика»:0,8, «программирование»:0,6, «физика»:0,4}; $<C_3T_2$:Когнитивные_характеристики> – параметр, описывающий психокогнитивные особенности обучаемого: стиль обучения (визуальный/аудиальный/кинестетический, аналитический/интуитивный, референции: {«визуал»:0,7, «аудиал»:0,2, «кинестет»:0,1}); скорость восприятия информации; объем рабочей памяти; способность к абстрактному

мышлению; уровень мотивации; тревожность при тестировании); <C_4T_2:История_обучения> – параметр, включающий хронологию курсов (пройденные модули с датами, текущие курсы, запланированное обучение), результативность (оценки по каждому элементу; время, затраченное на изучение; количество попыток для достижения результата), поведенческие паттерны (регулярность занятий, предпочтения во времени обучения, активность в дискуссиях); <C_5T_2:Текущий_прогресс> – текущее состояние образовательных активностей: прогресс по курсам (процент завершения каждого модуля; текущие оценки и баллы; выполненные и находящиеся на рассмотрении у преподавателя задания), темп обучения (соответствие графику (опережение/отставание), прогнозируемая дата завершения, рекомендации по коррекции темпа), проблемные зоны (темы, вызывающие затруднения; задания с низкими результатами; области для повторения); <C_6T_2:Предпочтения_обучения> – индивидуальные настройки и предпочтения в обучении: форматы контента (предпочтение видео/текста/интерактива, длительность уроков, уровень детализации объяснений), темп и расписание (интенсивность обучения, предпочтительное время суток, гибкость графика), социальные аспекты (индивидуальное/групповое обучение, участие в дискуссиях, обратная связь от преподавателя/системы), технические предпочтения (язык интерфейса; настройки доступности, уведомления и оповещения).

Далее представим краткие записи кортежей <T_3> и <T_4>:

<T_3:Педагогические_стратегии> =
= <<C_1T_3:*ID*_стратегии>, <C_2T_3:
Тип_стратегии>, <C_3T_3:Условия_применения>, <C_4T_3:Параметры_реализации>, <C_5T_3:Ожидаемые_результаты>,
<C_6T_3:Критерии_ эффективности>>

и

<T_4:Образовательные_траектории> =
= <<C_1T_4:*ID*_траектории>, <C_2T_4: Последовательность_элементов>, <C_3T_4:Условия_перехода>, <C_4T_4:Критерии_корректировки>,
<C_5T_4:Показатели_эффективности>>.

В рамках практической реализации кортежного моделирования в АОС рассмотрим примеры кортежного описания механизма адаптивного обучения кортежами <T_5> и <T_6>:

<T_5:Адаптивные_правила> = <<C_1T_5:*ID*_правила> = «*AR*-001», <C_2T_5:Тип_правила> = «корректировка_сложности», <C_3T_5:Условие_активации> = «результат_тестирования < 0,7», <C_4T_5:Действие> = «уменьшить_сложность_на_1_уровень», <C_5T_5:Цель_действия> = «повышение_успеваемости», <C_6T_5:Критерий_эффективности> = «коэффициент_усвоения > 0,8»>>;
<T_6:Состояния_обучения> = <<C_1T_6:*ID*_состояния> = «*SL*-015», <C_2T_6:*ID*_обучаемого> = «*STU*-042», <C_3T_6:*ID*_учебного_элемента> = «*MOD*-107», <C_4T_6:Текущий_результат> = 0,65, <C_5T_6:Статус> = «требуется_корректировка», <C_6T_6:Временная_метка> = «2025-01-15*T*10:30:00»> >.

Кортежное моделирование позволяет анализировать взаимодействия между компонентами АОС через установление связей между кортежами. Например, связь между кортежами <T_2> и <T_1> может быть представлена в виде:

<L_1:Связь_*T*2_*T*1> = <<C_1L_1:*ID*_связи> = «*INT*-7*A*3*B*9», <C_2L_1:*ID*_обучаемого> = «*STU*-042», <C_3L_1:*ID*_элемента> = «*MOD*-107-*TEST*-01», <C_4L_1:Тип_взаимодействия> = «прохождение_финального_теста», <C_5L_1:Результат> = 0,85, <C_6L_1:Временная_метка> = «2025-01-15*T*14:22:05», <C_7L_1:Длительность_взаимодействия> = «*PT*25*M*30*S*», <C_8L_1:Метаданные> = {«количество_попыток»: 2, «подсказки»: 1, «оценка_качества_ответов»: 0,9} >>.

Пояснение к компонентам кортежа связи:

<C_1L_1:*ID*_связи> – идентификатор записи о взаимодействии;

<C_2L_1:*ID*_обучаемого> – ссылка на кортеж обучаемого;

<C_3L_1:*ID*_элемента> – ссылка на кортеж учебного элемента;

<C_4L_1:Тип_взаимодействия> – характер взаимодействия между участниками связи. Примеры: «просмотр_лекции», «отправка_задания», «прохождение_теста»;

<C_5L_1:Результат> – количественный или качественный итог взаимодействия. Например, процент правильных ответов в тесте (0,85), буквенная оценка («*A*»), бинарный статус («зачет/незачет»);

<C_6L_1:Временная_метка> – дата и время начала или завершения взаимодействия;

<C_7L_1:Длительность_взаимодействия> – продолжительность активности обучаемого (например, «*PT*25*M*30*S*» – 25 минут и 30 секунд) ;

<C_8L_1:Метаданные> – дополнительная контекстная информация о взаимодействии, представленная в структурированном виде (например, в формате ключ-значение).

Таким образом, обобщая вышесказанное, можно утверждать, что кортежное моделирование представляет собой эффективный инструмент системного анализа автоматизированных обучающих систем. Предложенный в статье подход позволяет создавать формальные, целостные и непротиворечивые модели АОС, что способствует повышению эффективности их проектирования, анализа и управления.

Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть сосредоточены на разработке методик автоматизированного построения кортежных моделей и их интеграции с современными технологиями анализа образовательных данных.

Литература

1. Башмаков, А.И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков. – М. : Филинъ, 2003. – 616 с.

2. Волкова, В.Н. Теория систем и системный анализ : учебник для академического бакалавриата; 2-е изд., перераб. и доп. / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М. : Юрайт, 2014. – 616 с.

3. Спицина, И.А. Системный анализ и моделирование информационных систем : учеб. пособие / И.А. Спицина, К.А. Аксенов ; М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. – 118 с.

4. Артюшкин, О.В. Кортежно-компонентное моделирование в системном анализе автоматизированных обучающих систем / О.В. Артюшкин // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2019 – № 12(123). – С. 17–20.

5. Карпенко, А.П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор / А.П. Карпенко, А.А. Добряков // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011. – № 7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://technomag.bmstu.ru/doc/193116.

References

1. Bashmakov, A.I. Razrabotka kompyuternykh uchebnikov i obuchayushchikh sistem / A.I. Bashmakov, I.A. Bashmakov. – M. : Filin, 2003. – 616 s.

2. Volkova, V.N. Teoriya sistem i sistemnij analiz : uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata; 2-e izd., pererab. i dop. / V.N. Volkova, A.A. Denisov. – M. : YUrajt, 2014. – 616 s.

3. Spitsina, I.A. Sistemnij analiz i modelirovanie informatsionnykh sistem : ucheb. posobie / I.A. Spitsina, K.A. Aksenov ; M-vo nauki i vysshego obrazovaniya RF. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2021. – 118 s.

4. Artyushkin, O.V. Kortezhno-komponentnoe modelirovanie v sistemnom analize avtomatizirovannykh obuchayushchikh sistem / O.V. Artyushkin // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2019 – № 12(123). – S. 17–20.

5. Karpenko, A.P. Modelnoe obespechenie avtomatizirovannykh obuchayushchikh sistem. Obzor / A.P. Karpenko, A.A. Dobryakov // Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana. – 2011. – № 7 [Electronic resource]. – Access mode : http://technomag.bmstu.ru/doc/193116.

© О.В. Артюшкин, 2026

УДК 303.732.4

НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УЧЕБНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ДИСБАЛАНСЕ КЛАССОВ

Т.Г. АСЛАНОВ[1], Х.Б. ШТАНЧАЕВ[1], И.С. МАГОМЕДОВ[2, 3]

[1] ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»,
[2] ООО «Дом знаний»,
[3] Фонд «Сколково»,
г. Махачкала

Ключевые слова и фразы: LLM; искусственный интеллект; нейронная сеть; несбалансированные данные; образовательный результат; прогнозирование оценок; цифровая образовательная платформа.

Аннотация: Целью исследования является повышение точности прогнозирования предметных результатов обучения в условиях несбалансированности образовательных данных, для чего была выдвинута гипотеза о том, что интеграция методов векторизации на основе крупноязыковых моделей с адаптивными алгоритмами оптимизации позволяет существенно повысить качество прогнозирования академических результатов. Для достижения цели решены задачи разработки адаптивного алгоритма градиентного спуска и семантической векторизации категориальных признаков (учебных дисциплин). В качестве методов использованы нейросетевое моделирование на базе *PyTorch*, промпт-инжиниринг модели *YandexGPT* для формирования векторных представлений предметов и динамическая корректировка скорости обучения в зависимости от распределения целевой переменной в мини-пакете. Достигнутые результаты показали снижение погрешности прогноза до 3,2 % (средняя погрешность восстановления категориальных признаков составила 1,8 %) и подтверждение гипотезы исследования. Предложенная гибридная методология позволяет эффективно работать с несбалансированными выборками, выявлять учащихся групп риска и поддерживать индивидуализацию обучения.

В соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов (**ФГОС**) образовательная организация обязана предоставить обучающемуся возможность формировать индивидуальную образовательную траекторию. При этом в случае перехода обучающегося на конкретную образовательную траекторию организация не может гарантировать успешное освоение им всей образовательной программы.

Согласно паспорту стратегии «Цифровая трансформация образования» Министерства просвещения Российской Федерации, к 2030 г. возможность формирования индивидуальной образовательной траектории должна быть обеспечена для 80 % обучающихся. В Российской Федерации в 2025/26 учебном году функционирует 43,3 тыс. общеобразовательных организаций. Учитывая отсутствие действующих инструментов, обеспечивающих успешное освоение индивидуальной образовательной траектории, объем рынка неохваченных потребителей предлагаемого решения до 2030 г. оценивается в 34,6 тыс. организаций.

В современных общеобразовательных организациях обязанность по переводу обучающегося на индивидуальную образовательную траекторию сопряжена с определенными рисками, в частности – с возможным ухудшением его успеваемости. При этом образовательные организации не предоставляют рекомендаций ни самим обучающимся, ни их законным представителям на случай возникновения подобных ситуаций. В этих условиях возрастает необходимость в инструментах, позволяющих определить минимальный набор требований, выполне-

ние которых обеспечит успешное завершение выбранной образовательной траектории [1].

Наличие системы планируемых результатов обучения, закрепленной в ФГОС, создает предпосылки для построения логически выстроенной образовательной среды, в которой возможно индивидуализировать обучение каждого обучающегося. Такая индивидуализация может быть реализована за счет прогнозирования образовательных результатов и определения оптимального пути развития обучающегося.

В АНОО «Дом знаний» внедрена система прогнозирования предметных результатов обучения по когнитивным и личностным параметрам обучающегося, а также параметрам образовательной среды.

Для подготовки обучающей выборки в онлайн-школе «Дом знаний» было организовано анкетирование участников образовательных отношений, среди которых: заведующие предметными кафедрами, педагоги, тьюторы, психологи, ученики, технические работники, администрация образовательной организации. Для обучающей выборки собирались следующие укрупненные показатели школы: нормативно-правовые акты, образовательная программа, техническое оснащение, географическая среда, когнитивные и личностные особенности обучающихся, внутренний мониторинг и открытость образовательной организации. Анкетирование проводилось в 2022 и 2023 гг.

Ознакомиться с содержащимся в базе данных перечнем параметров, влияющих на учебный процесс, можно на сайте АНОО «Дом знаний» [2].

База данных содержит 4156 записей со 176 характеристиками. Центральным показателем выступает академическая успеваемость учащихся на втором году обучения, для прогнозирования которой собирались данные за первый учебный год.

Данные стандартизированы в диапазоне от 0 до 10, однако их распределение преимущественно не соответствует нормальному или равномерному типу.

Внедренная в учебный процесс система прогнозирования имела погрешность прогнозирования оценки около 7 процентов, позже погрешность удалось снизить до 4 процентов за счет использования векторизации категориальных признаков на основе решающих пней [3].

Основным недостатком внедренной системы прогнозирования оставалась несбалансированность данных, а именно диспропорционально большое количество учащихся с оценкой «хорошо» по сравнению с учащимися, получившими оценки «отлично», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», а также пропускающими занятия.

Выявление учеников-отличников с троечниками и двоечниками в образовательном процессе актуально для оптимизации педагогических стратегий и обеспечения индивидуального подхода. Это позволяет своевременно оказывать поддержку отстающим, предотвращая их дальнейшую академическую неуспешность, и создавать условия для развития способностей успевающих учеников, мотивируя их к углублению знаний. Кроме того, анализ успеваемости помогает оценивать эффективность учебных программ, корректировать методики преподавания и рационально распределять ресурсы.

Для повышения качества прогнозирования была разработана программа на основе библиотеки *PyTorch*, реализующая адаптивный алгоритм градиентного спуска. Шаг обучения корректируется в зависимости от состава мини-пакета (*batch*): если в пакете присутствуют объекты с целевыми значениями из заданного диапазона, для всего пакета применяется взвешенное среднее шагов градиентного спуска.

На рис. 1 приведен график обучения нейронной сети по эпохам обучения. Для ее обучения использовались следующие параметры: размер батча 32, для интервала от 0 до 3, от 3 до 5 и от 5 до 7 – шаг градиентного спуска равен 0,01, для интервала от 7 до 9 – шаг градиентного спуска равен 0,001, для интервала от 9 до 10 – шаг градиентного спуска равен 0,01. Следует отметить, что в датасете предметная оценка ребенка переведена в интервал от 0 до 10. Так, в датасете цифра «2» обозначает, что ребенок пропускает занятия, «4» – обозначает неудовлетворительную оценку, «6» – удовлетворительную оценку, «8» – оценку хорошо и «10» – оценку отлично.

На рис. 2 приведена матрица ошибок для выбранных пользователем интервалов.

В табл.1 приведены результаты обучения с градиентным спуском для оценок «1» – «3» и «5» равным 0,01 и для оценки 4 с градиентным спуском 0,001 для различных размеров батчей – 32, 16, 8, 4.

В табл. 2 приведены результаты обучения с градиентным спуском для оценки «4» равным 0,01 и с градиентным спуском для оценок «1» –

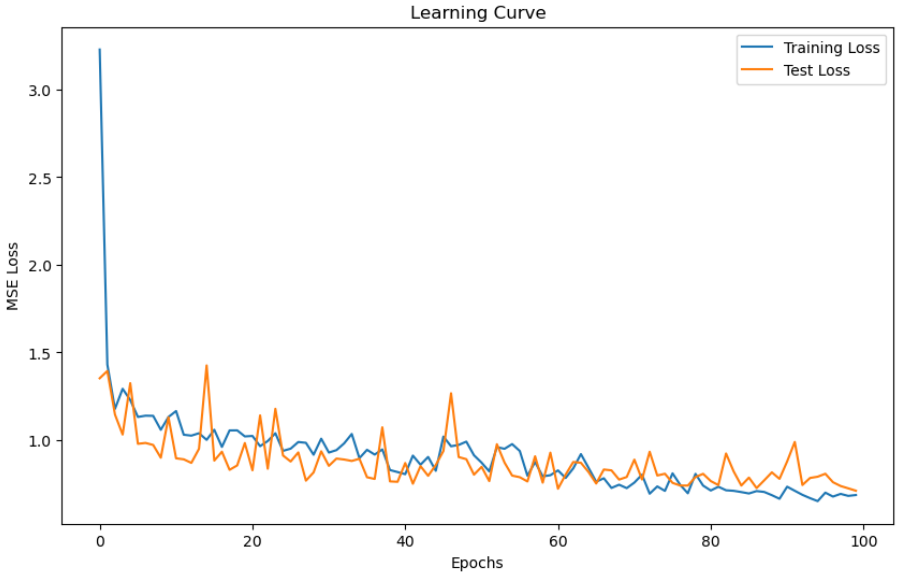


Рис. 1. Обучение нейронной сети

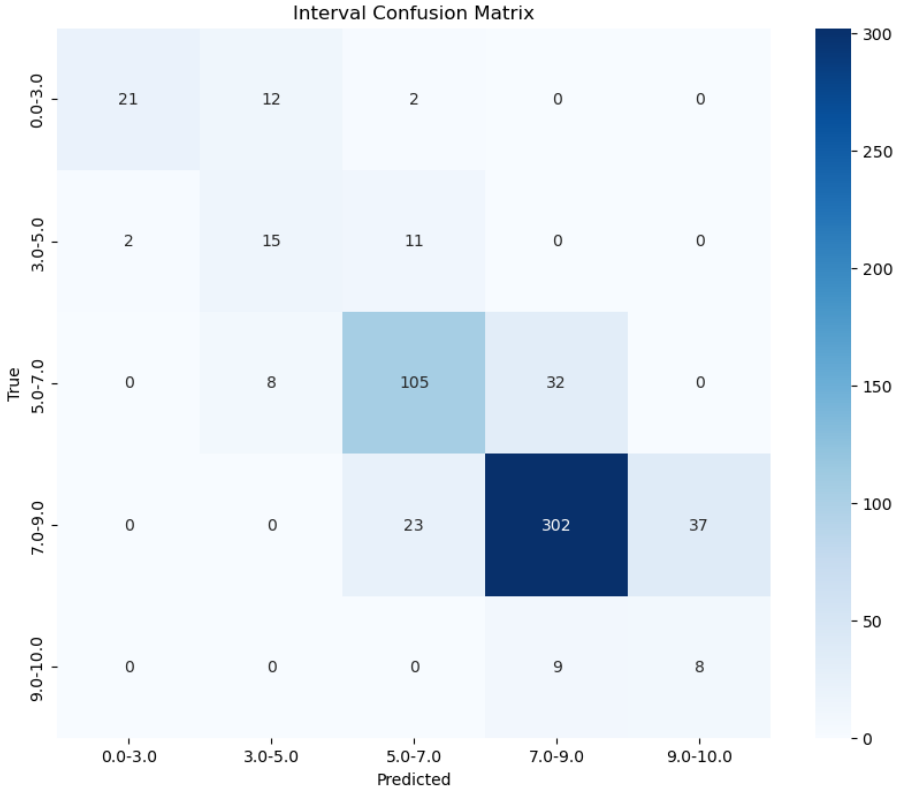


Рис. 2. Матрица ошибок

«3» и «5» равным 0,001.

На рис. 3 приведены графики отношений оценок «1» – «3», «5» к «4» для различных шагов градиентного спуска к размеру батча используемой при обучении нейронной сети. Указанное соотношение было построено для уменьшения влияния *MSE* на оценку предлагаемого метода.

Таблица 1. Результаты обучения с градиентным спуском для оценок «1» – «3» и «5», равным 0,01, и для оценки 4 с градиентным спуском 0,001

№	*MSE*	*Batch*	Вероятность верной классификации		Отношение оценок к «4»
			«1»–«3», «5» – 0,01	«4» – 0,001	
1	0,7115	32	0,662	0,834	0,794
2	0,7575	16	0,670	0,796	0,842
3	1,2530	8	0,634	0,808	0,785
4	0,9763	4	0,587	0,781	0,752

Таблица 2. Результаты обучения с градиентным спуском для оценки «4», равным 0,01, и с градиентным спуском для оценок «1» – «3» и «5», равным 0,00

№	*MSE*	*Batch*	Вероятность верной классификации		Отношение оценок к «4»
			«1»–«3», «5» – 0,001	«4» – 0,01	
1	0,9469	32	0,563	0,719	0,783
2	0,9164	16	0,662	0,842	0,786
3	0,8730	8	0,641	0,830	0,772
4	1,0552	4	0,600	0,801	0,749

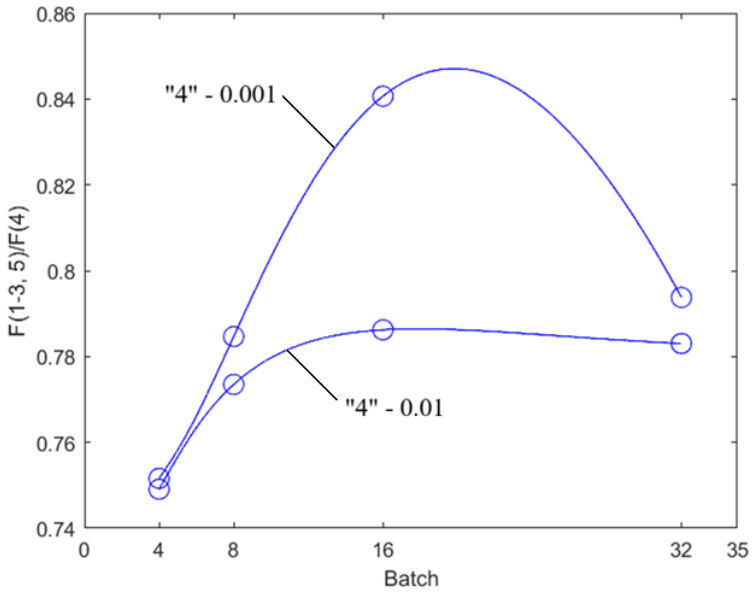


Рис. 3. Оценка шага градиентного спуска и батча, необходимого для обучения нейронной сети

Как видно из приведенных кривых – задание более высокого шага градиентного спуска для малой выборки из общей несбалансированной выборки приводит к улучшению результатов классификации оценок. При этом по графику можно определить размер батча, оптимального при заданных размерах градиентного спуска. Так, для приведенной задачи оптимальный размер батча равен 20.

Также по графику можно отметить, что при больших батчах происходит пересечение кривых, которые связаны с более равномерным

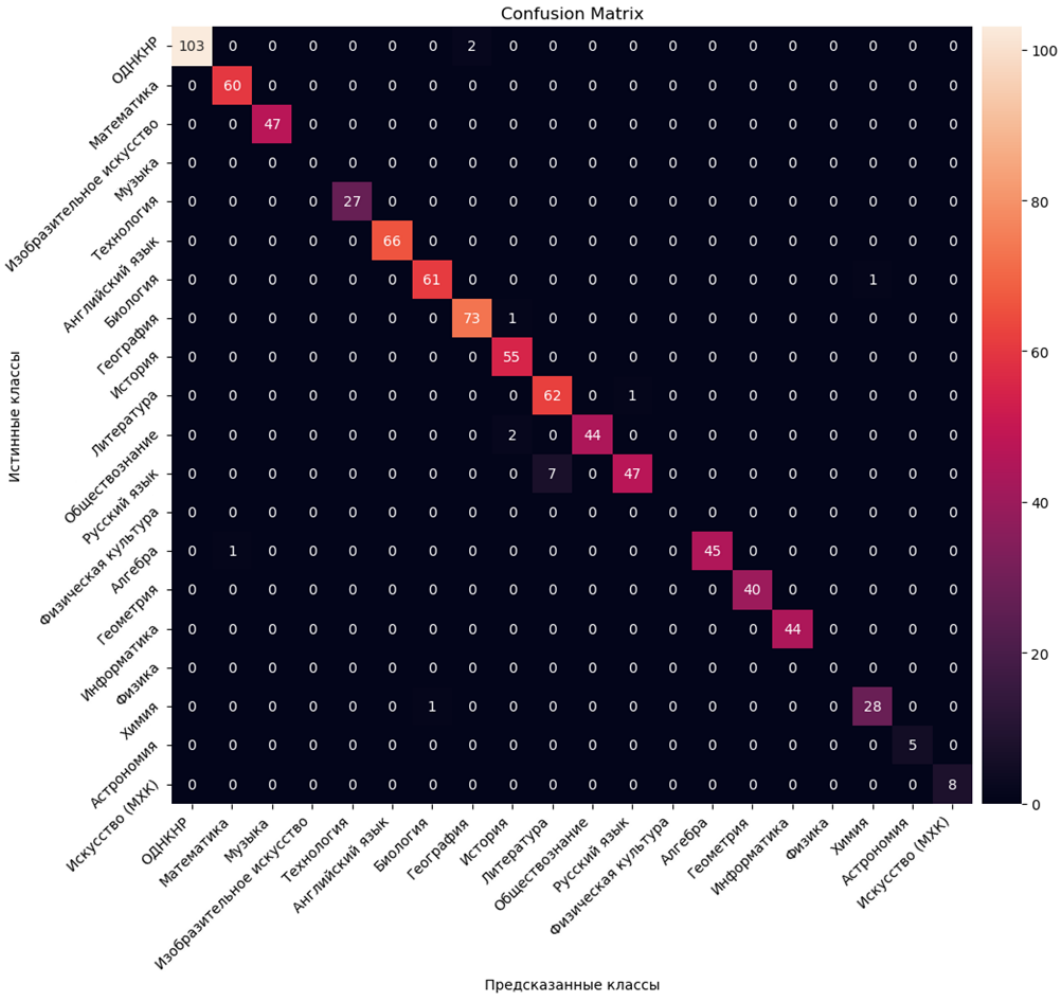


Рис. 4. Матрица ошибок восстановления категориальных признаков

распределением интервалов в батче, и по факту обозначает задание среднего шага градиентного спуска для всего интервала. При маленьких батчах также видно уменьшение точности классификации, что связано с обратной ситуацией, когда в батче может оказаться несколько данных с высоким шагом градиентного спуска, что приведет к нестабильности обучения нейронной сети.

Несмотря на достигнутое улучшение в классификации редких классов, остается задача повышения точности прогноза применительно к конкретным учебным дисциплинам. Для решения этой задачи применена семантическая векторизация категориальных признаков на основе языковой модели.

Для формирования векторного представления учебных дисциплин был использован следующий промпт для модели *YandexGPT*.

Есть предметы: ОДНКНР, Математика, Музыка, Изобразительное искусство, Технология, Английский язык, Биология, География, История, Литература, Обществознание, Русский язык, Физическая культура, Алгебра, Геометрия, Информатика, Физика, Химия, Астрономия, Искусство (МХК). Нужно каждый предмет перевести в отдельный вектор, состоящий из трех чисел. Вектора должны быть подобраны в зависимости от близости школьных предметов по различным параметрам и должны меняться от 0 до 10. Придумай такие три параметра, которые позволят развести предметы в векторном пространстве как можно дальше друг от друга. Ответ должен быть в виде словаря *python*.

Это позволяет, используя базу знаний, на которой был обучен предобученный трансформер, выявить параметры, отражающие сходство предметов, при этом обеспечивая их макси-

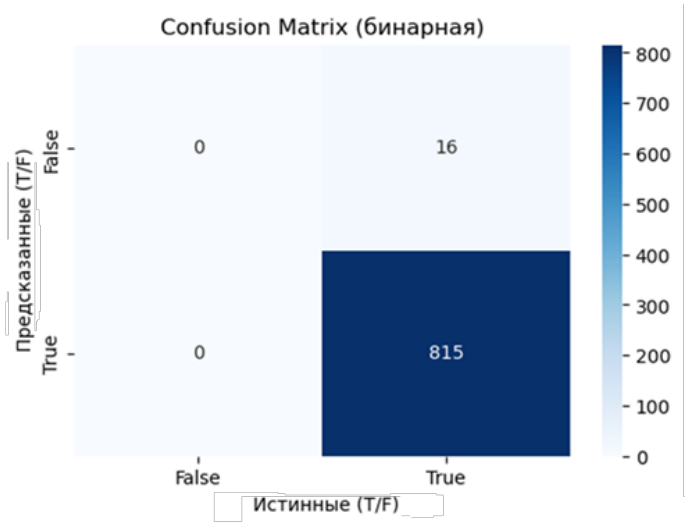


Рис. 5. Бинарная матрица ошибок

мальное разделение в векторном пространстве. Ниже приведен сгенерированный моделью *YandexGPT* ответ на указанный промпт:

{‘ОДНКНР’: [2, 3, 4], ‘Математика’: [9, 1, 7], ‘Музыка’: [1, 9, 3], ‘Изобразительное искусство’: [1, 9, 2], ‘Технология’: [6, 5, 8], ‘Английский язык’: [3, 2, 9], ‘Биология’: [8, 2, 6], ‘География’: [7, 3, 7], ‘История’: [4, 2, 8], ‘Литература’: [2, 4, 9], ‘Обществознание’: [4, 1, 8], ‘Русский язык’: [2, 3, 9], ‘Физическая культура’: [3, 7, 9], ‘Алгебра’: [9, 1, 6], ‘Геометрия’: [8, 1, 5], ‘Информатика’: [8, 2, 7], ‘Физика’: [9, 1, 7], ‘Химия’: [8, 1, 6], ‘Астрономия’: [9, 1, 3], ‘Искусство (МХК)’: [2, 8, 4]}.

Разделение дисциплин выполнено по следующим параметрам: формальная строгость (0–10), телесно-чувственная вовлеченность (0–10) и коммуникативно-смысловая насыщенность (0–10). Такая параметризация обеспечивает максимальное разделение ключевых дисциплин по углам векторного пространства, сохраняя логические связи между смежными предметами.

Для обучения нейронной сети на векторах, образованных при помощи промпта для *YandexGPT*, был создан словарь, с использованием которого заменены исходные категориальные признаки.

На тестовой выборке были получены векторные представления для категориальных признаков. Истинные векторы и векторы, восстановленные нейронной сетью, были сопоставлены с соответствующими классами категориальных признаков. По результатам сопоставления построена матрица ошибок, приведенная на рис. 4.

Как видно из рис. 4, основную погрешность составили близкие дисциплины, такие как «Алгебра» и «Математика».

Аналогично было выполнено три дополнительных расчета, по которым построена бинарная матрица ошибок, отражающая общее количество верно и неверно распознанных категорий. Четыре бинарные матрицы ошибок приведены на рис. 5. На их основе определено, что средняя погрешность восстановления категориальных признаков составляет 1,8 %.

Применение обучения на несбалансированных данных и векторизации категориальных признаков с использованием промпт-инжиниринга позволило обучить нейронную сеть с погрешностью 3,2 % прогнозировать оценку ребенка на год вперед по когнитивным и личностным параметрам ученика, а также по параметрам образовательной среды.

Проведенное исследование подтвердило гипотезу о том, что интеграция методов векторизации на основе крупноязыковых моделей с адаптивными алгоритмами оптимизации позволяет существенно повысить качество прогнозирования академических результатов в условиях несбалансированных образовательных данных.

Использование решающих пней для векторизации категориальных признаков имеет среднюю погрешность 5,17 %, а модель векторизации на основе *LLM* имеет среднюю по-

грешность 4 %.

Ключевым достижением работы стало снижение погрешности прогноза до 3,2 % за счет двух взаимодополняющих механизмов: во-первых, семантически осмысленной векторизации категориальных признаков (в частности, учебных дисциплин) через промпт-инжиниринг с использованием модели *YandexGPT*, что позволило выделить скрытые связи между предметами по формально-логическому, практико-эмпирическому и творческо-эмоциональному компонентам; во-вторых, разработки алгоритма динамической корректировки шага градиентного спуска в зависимости от доли «редких» классов (отличники, неуспевающие) в мини-пакете, что обеспечило более устойчивое обучение на несбалансированных выборках.

Дальнейшее развитие проекта предполагает автоматизацию сбора части параметров за счет использования технологий искусственного интеллекта, а также применение визуального анализа данных [4] для автоматизации выбора параметров, влияющих на учебный процесс в кабинете родителя.

Исследование выполнено за счет средств Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по договору № 5409ГС1/112041 от 26.11.2025.

Литература

1. Асланов, Т.Г. Прототип системы формирования индивидуальной траектории обучения / Т.Г. Асланов, М.Ш. Абидова, М.М. Максудов, Х.Ю. Тагиров, М.М. Магомед // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2023. – № 50(2). – С. 35–40. – DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-35-40.

2. Параметры учебного процесса, влияющие на предметные результаты обучения // Онлайн-школа «Дом знаний» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://docs.domznaniy.school/1.jpg.

3. Асланов, Т.Г. Прогнозирование предметных результатов обучения с использованием технологий искусственного интеллекта / Т.Г. Асланов, Х.Б. Штанчаев, Р.Ф. Фарманов, Х.Ю. Тагиров // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2026. – № 53(2).

4. Александров, И.А. Принципы автоматизации технологической подготовки производства путем нейросетевого моделирования / И.А. Александров // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 5(56). – С. 22.

References

1. Aslanov, T.G. Prototip sistemy formirovaniya individualnoj traektorii obucheniya / T.G. Aslanov, M.SH. Abidova, M.M. Maksudov, KH.YU. Tagirov, M.M. Magomed // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2023. – № 50(2). – S. 35–40. – DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-35-40.

2. Parametry uchebnogo protsessa, vliyayushchie na predmetnye rezultaty obucheniya // Onlajn-shkola «Dom znanij» [Electronic resource]. – Access mode : https://docs.domznaniy.school/1.jpg.

3. Aslanov, T.G. Prognozirovanie predmetnykh rezultatov obucheniya s ispolzovaniem tekhnologij iskusstvennogo intellekta / T.G. Aslanov, KH.B. SHtanchaev, R.F. Farmanov, KH.YU. Tagirov // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2026. – № 53(2).

4. Aleksandrov, I.A. Printsipy avtomatizatsii tekhnologicheskoj podgotovki proizvodstva putem nejrosetevogo modelirovaniya / I.A. Aleksandrov // Inzhenernij vestnik Dona. – 2019. – № 5(56). – S. 22.

© Т.Г. Асланов, Х.Б. Штанчаев, И.С. Магомедов, 2026

УДК 004.422.86

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОДОГРАММ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРЕДПРИЯТИЙ

М.Ю. ЕЛИЗОВ, С.Л. АРТЮХОВ

ООО «Компания ДЭП»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: информационно-вычислительные сети; кодограммы; информационная совместимость; преобразование данных; ковариация; ЕИП; достоверность измерений.

Аннотация: В статье представлен метод динамического преобразования кодограмм, направленный на повышение совместимости и достоверности информационного обмена в разнородных информационных системах предприятий.

Цель исследования: разработка метода динамического преобразования кодограмм, обеспечивающего повышение совместимости, полноты и достоверности информационного обмена между разнородными информационными системами предприятий за счет объединения параметров объектов, полученных от различных наблюдателей.

Гипотеза исследования: предполагается, что объединение параметров наблюдаемых объектов из различных источников с учетом ковариационных характеристик и оценки достоверности позволяет сформировать обобщенные кодограммы, обеспечивающие уменьшение их количества без существенной потери точности и полноты представления информации.

Задачи исследования следующие.

1. Разработать метод динамического преобразования кодограмм для объединения данных из разнородных источников наблюдения.
2. Определить структуру обобщенной кодограммы, включающую общие и уникальные параметры наблюдаемых объектов.
3. Разработать математический аппарат вычисления обобщенных средних значений параметров и объединенных ковариационных матриц.
4. Разработать метод оценки достоверности объединения наблюдений на основе расстояния Махаланобиса.
5. Реализовать процедуру формирования пересекающихся и дополняющих признаковых подмножеств.
6. Провести численный эксперимент для проверки корректности предложенного метода.
7. Оценить применимость метода в системах мониторинга и управления.

Методы исследования: в работе использованы методы математической статистики, теории вероятностей, ковариационного анализа, объединения многомерных наблюдений, оценки достоверности на основе расстояния Махаланобиса, а также методы численного моделирования.

Полученные результаты: предложен метод динамического преобразования кодограмм, обеспечивающий объединение наблюдений объектов из различных информационных систем. Разработана структура обобщенной кодограммы, включающая общие и уникальные параметры объектов. Получены формулы вычисления обобщенных параметров, объединенных ковариационных матриц и интегральной оценки достоверности объединения. Разработан алгоритм формирования пересекающихся и дополняющих множеств признаков. Проведен численный эксперимент, подтвердивший корректность предложенного метода. Показано, что уменьшение количества кодограмм за счет их объединения позволяет сохранять высокую достоверность результатов и полноту представления информации об объектах. Предложена структура практической реализации метода на основе единого каталога классификаторов и модулей трансформации. Подтверждена применимость метода в

промышленных и распределенных информационных системах мониторинга и управления.

Цифровизация предприятий и активное внедрение информационно-управляющих систем в промышленности, логистике, энергетике и других отраслях требует эффективной интеграции разнородных информационных потоков. В реальных условиях объекты управления многократно наблюдаются с различных точек, через разнородные датчики, подсистемы мониторинга и телеметрии. Это приводит к множественным представлениям одних и тех же характеристик, что увеличивает объем передаваемых данных, усложняет принятие решений и снижает достоверность информации из-за потенциальных противоречий.

Создание единого информационного пространства (**ЕИП**) на основе сложных организационно-технических систем (**СОТС**) требует унификации обмена, согласования форматов кодограмм, маршрутов передачи, протоколов и правил интерпретации. Особую актуальность приобретают подходы к динамической трансформации структур сообщений – кодограмм, как способу адаптации информации в условиях множества источников.

Одной из сложностей при объединении информации от различных систем является различие в номенклатуре признаков и способах их оценки. Для решения этой задачи необходимы математические модели, позволяющие формировать обобщенные оценки состояния объектов с учетом различий в структуре входных данных и уровне доверия к ним. В этой работе представлен метод, решающий задачу преобразования и обобщения кодограмм в реальном времени, с сохранением полноты и достоверности информации.

Проблематика интеграции данных в гетерогенных информационных системах активно изучается как в прикладной, так и в фундаментальной науке. В ряде работ рассматриваются подходы к трансформации структур данных [7], преобразованию кодограмм [5], а также алгоритмы, обеспечивающие интероперабельность между различными компонентами корпоративных систем [1; 2].

Классические методы трансляции сообщений, как правило, используют фиксированные шаблоны и не учитывают изменяющийся контекст. В работе [4] стандартизированы принципы легковесного обмена сообщениями в распределенных системах, однако они не решают задачу адаптации семантики сообщений. Методика, предложенная в [3], учитывает стохастическую природу оценок и использует вероятностные модели объединения, однако не оперирует структурой признаков.

Современные архитектурные решения, такие как универсальные шлюзы обмена или посредники, позволяют достигать физической совместимости систем, но не обеспечивают содержательной (семантической) согласованности данных [8; 9]. В работах [6; 10] обоснована необходимость объединения данных на уровне признаков и контекстов, а не только форматов. Кроме того, подходы на основе ковариационного анализа, как в [3], обеспечивают математически обоснованную оценку доверия к объединенным данным, что стало основой рассматриваемого в статье метода.

Предлагаемый метод синтезирует наработки из смежных областей: семантического моделирования, теории вероятностей и структурных алгоритмов адаптации данных, объединяя их в единую модель для задач динамического преобразования кодограмм в промышленных и корпоративных ИС.

Разработанный метод реализован в виде программного модуля, использующего ковариационный анализ для обобщения оценок параметров объектов. Исходные данные включают:

– три объекта с различными наборами параметров;

– двух наблюдателей с разным охватом признаков и ковариационными характеристиками;

– модель объединения данных на основе общей группы признаков и дополнения признаков;

– расчет достоверности обобщенной оценки на основе расстояния Махаланобиса и плотности вероятности.

Модель метода реализована в среде *MATLAB* с использованием функций генерации многомерных нормальных распределений и матричных операций. Используются следующие основные компоненты:

– матрицы наблюдаемых признаков и их ковариаций (4×4);

– оценка среднего вектора параметров (**МОЖ**);

Таблица 1. Сопоставление методов трансформации кодограмм

Метод	Учет структуры признаков	Ковариационный анализ	Адаптация к контексту	Применимость в реальном времени
Статический транслятор	✗	✗	✗	✓ (но ограничен шаблоном)
Универсальный шлюз	✓	✗	✗	✓
Семантическое моделирование	✓	✗	✓	✗
Вероятностное объединение [3]	✗	✓	✗	✗
Предлагаемый метод	✓	✓	✓	✓

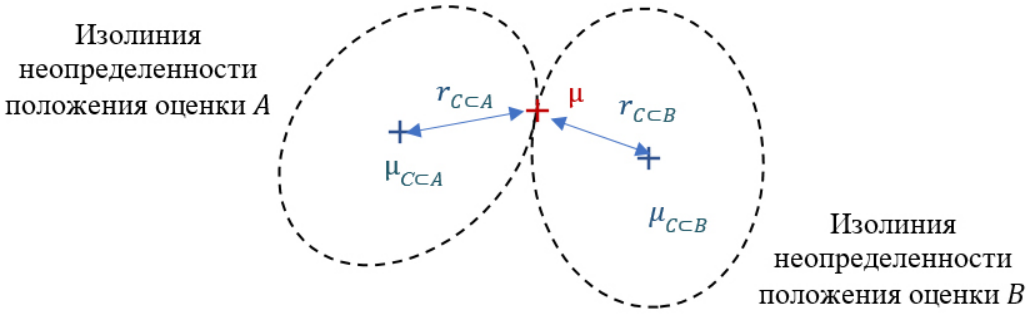


Рис. 1. Схема взаимосвязи параметров, используемых для определения качества обобщения

– формулы (1)–(8) для расчета обобщенных параметров и достоверности объединения.

Метод динамического преобразования кодограмм основан на поэтапной процедуре согласования и объединения параметров объектов, измеренных в различных кодограммах, с целью получения согласованного и недублируемого представления информации. В основе метода лежат принципы вероятностного слияния данных и ковариационного анализа.

В разработанном методе формирование оценки $O_D(\mu_D, \Sigma_D, k_D)$ параметров объекта на основе имеющихся пар оценок $O_A(\mu_A, \Sigma_A, k_A)$, $O_B(\mu_B, \Sigma_B, k_B)$, позволяет обобщать эти оценки в ЕПП. При этом μ_a и μ_b в общем случае находятся в пересекающихся, но не совпадающих признаковых пространствах. Компоненты множеств: μ – вектор МОЖ параметров соответствующей оценки; Σ – матрица ковариации (дисперсии) параметров соответствующей оценки; k – достоверность определения параметров соответствующего объекта.

В составе ЕПП три подмножества признаков: пересечение множеств признаков A и B ($C = A \cap B$), дополнение множества признаков B до $A \cup B$ ($A' = A \not\subset B$), дополнение множества признаков A до $A \cup B$ ($B' = B \not\subset A$).

В соответствии с приведенными подмножествами компоненты μ_D, Σ_D, k_D объединенного множества D формируются в несколько этапов.

1. Формирование обобщенной оценки параметров в ЕПП для общей группы признаков $C = A \cap B$ включает МОЖ параметров и ковариацию.

МОЖ параметров обобщенной оценки рассчитывается по формуле:

$$\mu_C = \mu_{C\subset A} + \Sigma_{C\subset A}(\Sigma_{C\subset A} + \Sigma_{C\subset B})^{-1} (\mu_{C\subset B} - \mu_{C\subset A}), \quad (1)$$

где $\mu_{C\subset A}$, $\mu_{C\subset B}$ – пространство параметров общих для оценки A и B; $\Sigma_{C\subset A}$, $\Sigma_{C\subset B}$ – матрицы ковариации ошибок определения параметров оценок.

Распределение ошибок параметров обобщенной оценки описывается матрицей ковариа-

ции и рассчитывается по формуле:

$$\Sigma_C = \Sigma_{C\subset A} - \Sigma_{C\subset A}{}^2(\Sigma_{C\subset A} + \Sigma_{C\subset B})^{-1}, \qquad (2)$$

где Σ_a, Σ_b – матрицы ковариации ошибок определения параметров оценок.

2. Достоверность обобщенной оценки параметров отражена на схеме взаимосвязи параметров (рис. 1). На ней изображены соотношения основных рассчитываемых величин: μ – МОЖ обобщенной оценки; $r_{C\subset A}$, $r_{C\subset B}$ – вектор-столбцы параметров оценки координат для каждого источника. Под изолинией понимается линия равного уровня плотности вероятности ошибки оценки координат цели.

Расстояние в долях дисперсии от каждой оценки до точки μ определяется по формуле:

$$\begin{aligned} r_{C\subset A} &= (\mu_{C\subset A} - \mu)^T \Sigma_{C\subset A} (\mu_{C\subset A} - \mu), \\ r_{C\subset B} &= (\mu_{C\subset B} - \mu)^T \Sigma_{C\subset B} (\mu_{C\subset B} - \mu). \end{aligned} \qquad (3)$$

Оценка плотности вероятности расположения оценок параметров A в характерных точках:

– в точке μ:

$$p_1(\mu) = p_{C\subset A}(r_{C\subset A}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_{C\subset A}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{r^2_{C\subset A}}{2}}; \qquad (4)$$

– в точке μ_a:

$$p_1(0) = p_{C\subset A}(0) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_{C\subset A}|^{\frac{1}{2}}}, \qquad (5)$$

где n – ранг матрицы Σ.

Соответствующие расчеты по формулам (4), (5) проводятся для оценок параметров $B(r_{C\subset A}, \Sigma_{C\subset A})$ и обозначаются p_2.

Достоверность обобщенной оценки (K) характеризуется плотностью вероятности в точке максимума (μ_C) и рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{p_1(\mu)\cdot p_2(\mu)}{p_1(0)\cdot p_2(0)}. \qquad (6)$$

3. Расширение пространства признаков обобщенной оценки параметров в ЕПП дополняющими признаками (дополнение). Для дополняющей группы признаков (A' и B') обобщенная оценка определяется путем дополнения МОЖ обобщенной оценки до $A \cup B$ прямым копированием соответствующих значений A' и B'.

$$\mu_D = \mu_\cap \cup \mu_A' \cup \mu_B'. \qquad (7)$$

Матрица ковариации дополняется компонентами матриц ковариации исходных оценок. Например, формируется единый список признаков со сквозной нумерацией {1–4} из исходных множеств признаков A = {1, 2, 3}, B = {1, 2, 4}. Ковариационная матрица дополняется прямым копированием элементов матриц A и B с соответствующими индексами признаков. Элементы результирующей матрицы с индексами, отсутствующими в исходных (в данном случае это элементы σ_{34} и σ_{43}), заполняются нулями:

$$\Sigma_D = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{\cap 11} & \sigma_{\cap 12} \\ \sigma_{\cap 21} & \sigma_{\cap 22} \end{bmatrix} & \begin{matrix} \sigma_{a13} \\ \sigma_{a23} \end{matrix} & \begin{matrix} \sigma_{b14} \\ \sigma_{b24} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \sigma_{a31} & \sigma_{a32} \end{matrix} & \sigma_{a33} & 0 \\ \begin{matrix} \sigma_{b41} & \sigma_{b42} \end{matrix} & 0 & \sigma_{b44} \end{bmatrix}.$$

Достоверность обобщенной оценки характеризует вероятность корректного обобщения оценок параметра x и фактически является коэффициентом k, определяющим плотность распределения p_k пропорционально плотности нормально распределенной величины $p(x)$:

$$p_k = kp(x) = k\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \qquad (8)$$

Расчет достоверности обобщенной оценки позволяет принимать решение о слиянии оценок. При слиянии группы оценок это дает возможность выбрать такие пары оценок, объединение которых приведет к минимальным потерям средней достоверности. Эта процедура показана ниже на числовом примере.

Расчеты на числовом примере

Оптимальные размеры пакетов формируются при использовании метода динамического преобразования кодограмм в информационных системах предприятий, что способствует интеграции данных от различных датчиков. Это позволяет улучшить совместимость СОТС, а также повысить достоверность и точность измерений.

Таблица 2. Значения параметров объектов

Параметр	1	2	3	4	5	6
Объект *A*	1	2	3	4	5	6
Объект *B*	3	4	5	6	7	8
Объект *C*	5	6	7	8	9	10

Таблица 3. Результаты, получаемые датчиком 1

Параметр	1	2	5	6
Измерение 1	1	2	5	6
Измерение 2	3	4	7	8
Измерение 3	5	6	9	10

Таблица 4. Результаты, получаемые датчиком 2

Параметр	1	2	3	4
Измерение 4	1,5	2,5	3,5	4,5
Измерение 5	3,5	4,5	5,5	6,5
Измерение 6	5,5	6,5	7,5	8,5

Для расчета сформируем исходные данные для двух датчиков и трех объектов.

Датчик 1 будет получать параметры – 1, 2, 5 и 6 без систематической ошибки, в то время как датчик 2 получает параметры – 1, 2, 3 и 4 с систематической ошибкой +0,5. Оценку достоверности всех датчиков примем за 0,99.

Примем, что оба наблюдателя обладают достоверностью измерения 0,99. При этом неизвестно, к какому именно объекту относятся получаемые данные.

В качестве исходных данных примем следующие данные датчиков (табл. 2 и 3).

Матрицы ковариации всех измерений примем равными матрице следующего вида:

$$\Sigma \approx \begin{bmatrix} 1 & 0,5 & \dots & 0,5 \\ 0,5 & 1 & \dots & 0,5 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0,5 & 0,5 & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

Для принятия решения о том, какие пары измерений следует обобщить, рассмотрим значения достоверности всех возможных вариантов. Эти значения могут быть представлены в виде матрицы K. Каждый элемент k_{ij} матрицы показывает значение достоверности при обобщении пары i-го и j-го измерения.

Для рассматриваемых входных данных будет сформирована следующая матрица достоверности:

$$K = \begin{pmatrix} - & 0,9715 & \approx 0 & 0,4809 & \approx 0 & \approx 0 \\ - & - & 0,004 & \approx 0 & \approx 0 & \approx 0 \\ - & - & - & 0,9715 & 0,4809 & 0,4809 \\ - & - & - & - & \approx 0 & \approx 0 \\ - & - & - & - & - & 0,9801 \\ - & - & - & - & - & - \end{pmatrix}.$$

Матрица симметрична, поэтому элементы ниже диагональных отбрасываем (не рассчитываем). Элементы главной диагонали соответствуют обобщению измерения самого с собой и не имеют физического смысла, поэтому их тоже отбрасываем. Из оставшихся элементов достоверность, близкая к 1, обеспечивается объединением пар (1, 4) (2, 5) (3, 6), которые выделены

Таблица 5. Результаты объединения

Параметр	1	2	3	4	5	6
Измерение 7	1,25	2,25	3,5	4,5	5	6
Измерение 8	3,25	4,25	5,5	6,5	7	8
Измерение 9	5,25	6,25	7,5	8,5	9	10

цветом.

В контексте настоящей статьи значение имеют не величины самих результирующих параметров, а величины их достоверности. Ковариационные матрицы измерений не приводятся.

Достоверности результирующих обобщенных измерений составили: k_7 = 0,9715; k_8 = 0,9715; k_9 = 0,9801.

Средняя достоверность в группе измерений после объединения составит: p_k = 0,97.

Таким образом, применение предлагаемого метода при выборе обобщаемых данных в группе сохраняет высокий уровень достоверности этой группы при уменьшении их количества.

Разработанный метод при интеграции данных разнородных информационных систем позволяет оценить достоверность результата обобщения при уменьшении числа кодограмм (с шести до трех), что подтверждает его эффективность для задач информационного объединения в реальном времени без потерь полноты данных.

Результаты, полученные в ходе численного эксперимента, подтверждают способность метода эффективно объединять информацию от различных источников. При объединении шести наблюдений, сформированных двумя наблюдателями по трем объектам, наблюдается сокращение количества итоговых кодограмм в два раза – с шести до трех. При этом средняя достоверность объединенных оценок снизилась незначительно – с исходных 0,99 до 0,9715. Снижение составило менее 2 %, что является допустимым при эксплуатации информационных систем в условиях неполных и разнородных данных.

Метод позволяет обобщать данные, отличающиеся не только по значениям, но и по структуре параметров. Использование ковариационного анализа и меры доверия на основе расстояния Махаланобиса делает процедуру математически обоснованной и применимой в реальном времени. Возможность дополнения объединенного признакового пространства позволяет сохранить всю исходную информацию без потерь.

Внедрение метода в системах мониторинга и управления может существенно повысить эффективность обработки данных, особенно в условиях ограниченных вычислительных ресурсов или при необходимости передачи информации через каналы с ограниченной пропускной способностью.

В статье представлен метод динамического преобразования кодограмм, направленный на повышение совместимости и достоверности информации при межсистемном взаимодействии в распределенных информационных системах предприятий.

Метод реализует:

– математически обоснованное объединение параметров от разных наблюдателей;

– учет структуры признаков и ковариаций измерений;

– сохранение семантики и полноты исходной информации при уменьшении количества кодограмм.

Результаты численных экспериментов показали, что предлагаемый метод позволяет:

– адаптироваться к различным структурам данных и конфигурациям наблюдателей;

– использовать методику в реальном времени.

Дальнейшее развитие может быть связано с расширением метода на нелинейные модели, автоматическим формированием правил объединения и включением механизмов самообучения при обработке поступающих кодограмм.

Литература

1. Статья по спецтеме // Научно-технический сборник АО «Концерн «Системпром». – 2019. –

№ 1(10).

2. Применение интеллекта оператора в процессе автоматической обработки данных сложной технической системы управления воздушным движением // XXI Всероссийская научно-практическая конференция ПВО, 2020.

3. Метод обобщения разнородных оценок случайных величин с гауссовым распределением // LXI Международная конференция “Advances in science and technology”, 15 июня 2024 г.

4. ISO/IEC 20922:2016. Information technology – MQTT v3.1.1.

5. Иванов, В.Г. Единое информационное пространство ВС РФ – основа информационного обеспечения войск в международных вооруженных конфликтах / В.Г. Иванов, М.А. Гудков, В.Н. Лукьянчик // Военная мысль. – 2023. – № 5.

6. Афонин, И.Е. Переход к адаптивно-сетевой структуре системы управления воздушно-космической обороной, как один из основных путей повышения ее устойчивости / И.Е. Афонин, С.В. Петров, С.И. Макаренко // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2021. – № 19.

7. Башлыкова, А.А. Подход к обеспечению интероперабельности в сетецентрических системах управления / А.А. Башлыкова, С.В. Козлов, С.И. Макаренко, А.Я. Олейников, И.А. Фомин // Журнал радиоэлектроники. – 2020. – № 6.

8. Стародубов, В.И. Методические рекомендации по организации информационного взаимодействия медицинских информационных систем медицинских организаций частной системы здравоохранения с единой государственной информационной системой в сфере здравоохранения. Федеральный проект «Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)» / В.И. Стародубов, П.С. Пугачев, Д.В. Селиванов. – 2020.

9. Тарасов, Д.А. Технологическая сеть связи ОАО «ГАЗПРОМ». Текущее состояние, направление развития. Уровни сети. Анализ необходимости комплексного отслеживания параметров сети / Д.А. Тарасов, Д.В. Спандерашвили // APRIORI. Серия: естественные и технические науки. – 2015. – № 3. – С. 28.

10. Макаренко, С.И. Анализ воздействия преднамеренных помех на функционирование расширенного протокола маршрутизации внутреннего шлюза (EIGRP) / С.И. Макаренко // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – № 2. – С. 223–229.

References

1. Statya po spetsteme // Nauchno-tekhnicheskij sbornik AO “Kontsern “Sistemprom”. – 2019. – № 1(10).

2. Primenenie intellekta operatora v protsesse avtomaticheskoj obrabotki dannykh slozhnoj tekhnicheskoj sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem // XXI Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya PVO, 2020.

3. Metod obobshcheniya raznorodnykh otsenok sluchajnykh velichin s gaussovym raspredeleniem // LXI Mezhdunarodnaya konferentsiya “Advances in science and technology”, 15 iyunya 2024 g.

4. ISO/IEC 20922:2016. Information technology – MQTT v3.1.1.

5. Ivanov, V.G. Edinoe informatsionnoe prostranstvo VS RF – osnova informatsionnogo obespecheniya vojsk v mezhdunarodnykh vooruzhennykh konfliktakh / V.G. Ivanov, M.A. Gudkov, V.N. Lukyanchik // Voennaya mysl. – 2023. – № 5.

6. Afonin, I.E. Perekhod k adaptivno-setevoj strukture sistemy upravleniya vozdushno-kosmicheskoj oboronoj, kak odin iz osnovnykh putej povysheniya ee ustojchivosti / I.E. Afonin, S.V. Petrov, S.I. Makarenko // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika. – 2021. – № 19.

7. Bashlykova, A.A. Podkhod k obespecheniyu interoperabelnosti v setetsentricheskikh sistemakh upravleniya / A.A. Bashlykova, S.V. Kozlov, S.I. Makarenko, A.YA. Olejnikov, I.A. Fomin // ZHurnal radioelektroniki. – 2020. – № 6.

8. Starodubov, V.I. Metodicheskie rekomendatsii po organizatsii informatsionnogo vzaimodejstviya meditsinskikh informatsionnykh sistem meditsinskikh organizatsij chastnoj sistemy zdravookhraneniya s edinoj gosudarstvennoj informatsionnoj sistemoj v sfere zdravookhraneniya. Federalnij proekt “Sozdanie

edinogo tsifrovogo kontura v zdravookhranenii na osnove edinoj gosudarstvennoj informatsionnoj sistemy v sfere zdravookhraneniya (EGISZ)" / V.I. Starodubov, P.S. Pugachev, D.V. Selivanov. – 2020.

9. Tarasov, D.A. Tekhnologicheskaya set svyazi OAO "GAZPROM". Tekushchee sostoyanie, napravlenie razvitiya. Urovni seti. Analiz neobkhodimosti kompleksnogo otslezhivaniya parametrov seti / D.A. Tarasov, D.V. Spanderashvili // APRIORI. Ceriya: estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2015. – № 3. – S. 28.

10. Makarenko, S.I. Analiz vozdejstviya prednamerennykh pomekh na funktsionirovanie rasshirennogo protokola marshrutizatsii vnutrennego shlyuza (EIGRP) / S.I. Makarenko // Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya. – 2010. – № 2. – S. 223–229.

© М.Ю. Елизов, С.Л. Артюхов, 2026

УДК 004.89:658.5:004.9

Architecture of an Automated Management Decision-Making System Based on Speech Analytics

M.O. IGLIN, E.A. SVIRIDOVA, A.N. SVIRIDOV, A.V. SHCHAGIN

National Research University of Electronic Technology, Moscow

Key words and phrases: contact center; speech analytics; management decision-making; automated system architecture; management case; prioritization; corrective action; backend architecture; event-driven processing; PostgreSQ.

Abstract: The article is devoted to the development of the architecture of an automated management decision-making system in a contact center based on speech analytics data. The purpose of the study is to create an architectural solution that ensures the transformation of analytical signals from the external layer into a formalized process of identifying problem situations, prioritizing them, selecting corrective actions, monitoring execution, and evaluating the effect achieved. The objectives of the study included defining system requirements, designing the structure of the application layer, substantiating the mechanisms of synchronous and asynchronous interaction, and organizing transactional and event-based data storage. The research hypothesis is that the formation of a specialized application layer over speech analytics tools makes it possible to close the service quality management loop and improve the efficiency of responding to recurring problem scenarios. The methodological basis of the study includes systems analysis, architectural design of distributed systems, functional decomposition, and event modeling. As a result, a system architecture was proposed that includes services for signal normalization, registration of problem situations, priority calculation, selection of corrective actions, task management, effect evaluation, and auditing. The use of REST interaction for user operations and a message broker for background processing of analytical events is substantiated. The practical significance of the results lies in creating an architectural foundation for reducing decision preparation time, increasing the reproducibility of management procedures, and closing the service quality management loop in a contact center.

Introduction

A contact center is a high-load operational environment in which service quality depends not only on the actions of the operator, but also on the routing architecture, consistency of service regulations, availability of internal information systems, and the speed of management response to recurring problematic scenarios. As the volume of requests grows, manual quality control ceases to provide sufficient coverage and leads to a delay between deviation detection and corrective decision-making.

In recent years, speech analytics systems have been increasingly used to address service quality control tasks. They make it possible to automatically process customer dialogues, perform transcription, identify problematic topics, detect regulatory violations, and discover recurring negative scenarios. However, in practice, most such systems solve mainly the task of observation. They provide analytical signals, thematic samples, and reports, but do not close the full management loop. The transition from a signal about a problem to a specific management action, task assignment, and subsequent effect evaluation usually remains outside the automated system.

In this regard, the task of designing the architecture of a specialized system becomes relevant. Such a system should not duplicate the functions of monitoring and speech analytics but should form a management layer built on top of an existing analytical contour. This system should accept the results of external analytics, transform them into management cases, calculate their priority, support the selection of corrective actions, initiate execu-

tion, and record the measurable effect of the decisions made.

The purpose of the article is to describe the architecture of an automated management decision-making system in a contact center based on speech analytics. The paper considers the system requirements, its logical and technological structure, the principles of interaction with external components, and the implementation features of an architecture focused on the traceability of the full life cycle of a management case. The engineering novelty of the proposed approach lies in the development of an architectural solution with a dedicated application control contour that transforms analytical signals from an external speech analytics system into management cases, actions, tasks, and repeated evaluation results. Unlike solutions limited to monitoring and reporting, the proposed approach formalizes the full life cycle of a management case and ensures its traceable progression from an event to a measurable effect.

Requirements for the System Architecture

When designing the architecture, it is necessary to proceed from the fact that the object of control is the customer service process, and the result of the system operation should be not only the detection of deviations, but also support for subsequent management response. Customer requests, service regulations, operator workload data, routing parameters, and product and request context data enter this object of control. The state of the process is also affected by external disturbances, including uneven input flow, heterogeneous request complexity, errors in adjacent information systems, human factors, and resource limitations.

Therefore, designed architecture must support several classes of data simultaneously [1]. First, these are analytical signals coming from the external speech analytics contour, including script violations, conflict formulations, incomplete problem resolution, incorrect identification, and other deviations. Second, these are operational and performance metrics of the contact center, such as waiting time, average handling time, repeat request rate, first-contact resolution rate, escalations, and customer satisfaction indicators. Third, these are management data, including case type, calculated priority, selected action, assigned executor, deadlines, task status, and the results of repeated evaluation after intervention.

These requirements define the key architectural principles. When designing a distributed architecture, reliability, scalability, and maintainability must be ensured for the entire system rather than for isolated components [2]. The system must be modular so that prioritization algorithms, action selection rules, task assignment mechanisms, and effect evaluation procedures can evolve independently. It must be integrable, because it does not replace existing monitoring systems, but uses them as an external source of analytical data. It must support both synchronous and asynchronous interaction: synchronous exchange is required for user scenarios and prompt access to case cards, while asynchronous processing is needed for analytical signal flows, priority recalculation, event aggregation, and background effect control procedures. Finally, the architecture must be historical and traceable, since without recording the chain "signal – case –action – task – result," reproducible service quality management is impossible.

Architecture of the Automated System

In general, the architecture of the solution includes three logical layers.

The first layer is formed by the external analytical contour. It includes operating systems for communication recording, transcription, monitoring, and speech analytics. Their task is to register and preprocess requests, extract observable features, and generate analytical signals. For the designed system, this layer is considered an external supplier of events and aggregates. It is important to emphasize that the proposed solution does not duplicate this contour, but uses its results as the source material for management response.

The second layer is the application management contour, which is the core of the designed system. The decomposition of the solution into separate services simplifies the independent development of business functions and the localization of architectural changes [3]. It is advisable to include the following services:

– analytical signal reception and normalization service;
– management case generation service;
– priority calculation service;
– recommended action selection service;
– task and execution control service;
– effect evaluation service;
– logging and audit service;
– API layer for user interfaces and integration with external systems.

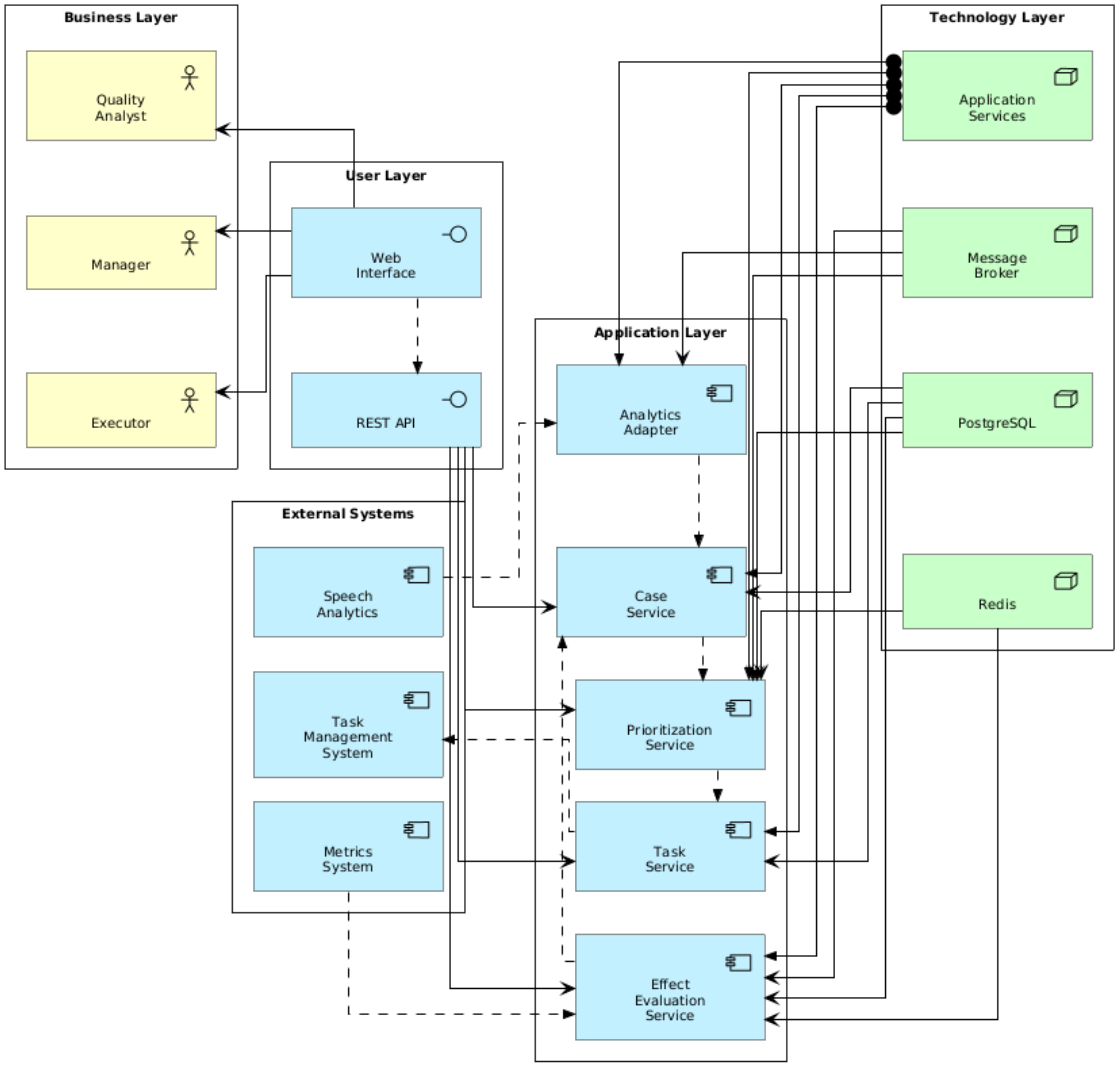


Fig. 1. Architecture of an automated management decision-making system

From the perspective of backend architecture, the application contour should be divided into synchronous and asynchronous parts. The synchronous contour serves user scenarios through a REST API and includes operations for viewing, creating, and changing case states, confirming actions, and controlling task execution. The asynchronous contour processes incoming analytical signals, performs event aggregation, priority recalculation, repeated effect evaluation, and service notifications. This separation makes it possible to distinguish between operations requiring low response latency and background procedures that can be processed with a delay.

The third layer is the storage and infrastructure layer. It contains the transactional database, message queue, caching tools, event log, and observability subsystem, including logs, metrics, and tracing of interservice interactions. The general logic of interaction between these components is presented in Fig. 1.

From the point of view of system design, the architecture must support two types of flows. The first is the management data flow arising from user actions: opening a case, viewing the case card, confirming an action, assigning an executor, and closing a task. It requires synchronous API interaction that ensures predictable response time and operational consistency. The second is the analytical event flow coming from the external speech analytics contour or generated by the system itself during recalculation. The use of a message broker makes it possible to separate the user contour from the background processing of analytical sig-

nals and thereby reduce the coupling of application components [4]. Therefore, an event-driven and asynchronous exchange mechanism through a broker is more appropriate. This approach relieves the application layer, reduces component coupling, and provides scalable processing of uneven signal flows.

The application model of the solution includes two interconnected storage contours. The first is a transactional contour in which the current states of cases, tasks, actions, and repeated evaluation results are recorded. The second is an event contour in which incoming analytical signals, status changes, background processing results, and technical integration events are reflected. This separation simplifies change auditing, repeated event processing, and the analysis of how a management case moves through the stages of its life cycle.

Within the proposed architecture, an analytical signal first passes through a normalization stage. At this stage, the format of incoming data is unified, the identifiers of channels, operators, request topics, and violation features are brought to a common form, and primary event aggregation is performed. Then the system either creates a new management case if the signal corresponds to a new problematic scenario or links the event to an existing case if it relates to a previously detected deviation. As a result, a single entity is formed around which the entire management cycle is subsequently built.

The management case acts as the main aggregate of the domain model, around which analytical signals, actions, tasks, history of changes, and repeated evaluation results are organized. The case card stores information about the problematic scenario, its source, topic, quantitative and qualitative features, the related group of requests, the calculated priority, the selected management action, executors, execution status, and repeated evaluation results. Such a model makes the case not only a unit of analytical observation, but also the main object of application management around which state storage, task assignment, execution control, and repeated effect evaluation are organized.

System Functioning Algorithm

After a case is formed, the system calculates its priority based on an aggregated set of features coming from the analytical and operational contours. In the proposed formulation, prioritization takes into account the frequency of the scenario, its impact on key quality indicators, the dynamics of deterioration, and the degree of risk to customer experience or the business process. This approach makes it possible to move from a simple list of signals to ranking problems by their management significance. The highest-priority cases are subject to priority processing by a manager, while low-priority cases can be aggregated, observed over time, or transferred to a deferred analysis queue.

The next step is the selection of a corrective action. In the considered domain, such actions may include targeted staff training, script correction, knowledge base revision, routing logic modification, redistribution of authority between support lines, or the initiation of changes in adjacent processes. The architecture should support not a rigidly embedded rule of “one signal – one action,” but a mechanism for correlating the case type, its metrics, and the history of similar situations with a catalog of permissible actions. This ensures controlled extensibility and makes it possible to refine the selection rules over time based on accumulated statistics.

After the action is confirmed, the system transfers the case to the operational stage. At this stage, a task is created, an executor is assigned, and a deadline and completion criteria are set. It is important that task assignment should not be carried out manually outside the system but should be built into the architectural contour. Otherwise, the traceability of the case life cycle is broken and the connection between the analytical basis of the decision and the actual execution is lost. Therefore, architecture should either contain its own task module or be integrated with a corporate task-management contour via API and event exchange.

The management loop is closed only at the effect control stage. After the action is completed, the system must initiate repeated evaluation by comparing target metrics before and after the action, checking changes in the frequency of negative scenarios, recurrence of deviations, labor costs of support, and other relevant indicators. If the effect is recognized as insufficient, the case is not finally closed, but is transferred to the repeated processing mode. This makes it possible to maintain a closed management loop in which each intervention is checked by the result rather than considered successful merely by the fact of task assignment.

Implementation of the Prototype

From the technological point of view, the prototype should be implemented as a service-oriented

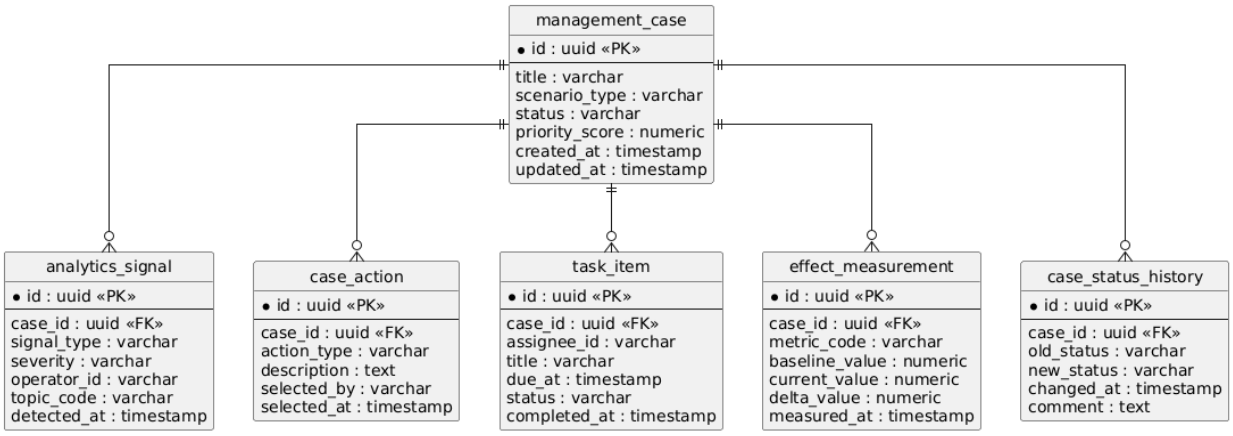


Fig. 2. ERD model of the data of the automated management decision-making system

web application. It is rational to use Python for the application layer because it is convenient both for implementing business logic and for integration with external analytical contours. The choice of Python for the application layer is justified by its rich ecosystem and high speed of service logic development [5]. When implementing services in Python, it is advisable to follow idiomatic language practices, as this increases code readability and maintainability [6]. Web access to the functionality can be organized through a REST API providing operations for case management, task control, action catalog handling, and effect evaluation results. The user interface in such a solution is oriented toward three main roles: quality analyst, manager, and executor.

For storing transactional entities, the use of a relational DBMS is architecturally justified. When designing the storage layer, it is necessary to consider the internal mechanisms of PostgreSQL affecting the operational characteristics of the system [7]. It stores case cards, life cycle events, assignments, statuses, recalculation history, and repeated measurement results. PostgreSQL is advisable as the main transactional data store of the designed system [8]. When moving the solution to industrial operation, the requirements for fault tolerance and reading historical data should be taken into account. This makes database replication, the separation of read and write workloads, and the reservation of critical components justified as architectural conditions of scalability and operational stability. The entity-relationship model of storing the main objects of the designed system is presented in Fig. 2.

Asynchronous procedures should be moved to a separate background processing contour. These include receiving mass signals from external analytics, event aggregation, priority recalculation, the launch of periodic effect evaluation procedures, and the generation of summary reports and notifications. For this purpose, the use of a message broker is justified in the architecture. It makes it possible to separate user operations from heavy computational and integration scenarios, which is especially important under uneven incoming analytical signal flow and the need for horizontal scaling of handlers.

To achieve operational maturity, the system must provide logging and monitoring. The architecture must retain both business events and technical events of services. The first group includes case creation, priority changes, action confirmation, task assignment and completion, and repeated evaluation results. The second group includes integration errors, background handler failures, repeated message delivery attempts, API response time degradation, and storage access failures. The presence of centralized logging, metrics, and distributed tracing makes it possible not only to support the system, but also to confirm the correctness of the management cycle in real operation.

The proposed architecture allows phased development. At the first stage, a basic contour can be implemented: receiving signals, forming cases, manually confirming a recommended action, and subsequent effect control. At the second stage, more complex scenarios can be automated, including intelligent adjustment of prioritization rules, expansion of the action set, connection of additional event sources, and deeper analysis of causal relationships between speech features and changes

in service metrics.

Conclusion

The proposed architecture of an automated management decision-making system is aimed at eliminating one of the key gaps in contact center service quality management, namely the gap between detecting problems by means of speech analytics and the actual management action. Unlike solutions limited to monitoring and reporting, the designed system forms a specialized management layer over the external analytical contour and ensures a traceable transition from a signal to an action and a measurable result.

The engineering value of the proposed approach lies in the fact that the architecture is built as a modular, integrable, and scalable system combining a synchronous API contour for user scenarios and an asynchronous event contour for stream processing of analytical signals. The central entity is the management case that links the source of deviation, prioritization rules, management action, execution, and repeated evaluation results. Owing to this, the system supports not an open-ended scheme of analytical observation, but a closed loop of service quality management.

The practical significance of such an architecture is determined by the possibility of reducing decision preparation time, decreasing the response time to problematic scenarios, lowering the labor costs of analysts and managers, and increasing the reproducibility of management actions. Further development of the solution is associated with expanding the action catalog, increasing the complexity of prioritization models, strengthening integration with adjacent corporate systems, and improving the operational resilience of the infrastructure layer.

References

1. Загребин, А.А. Применение алгоритмов компьютерного зрения в дефектоскопии / А.А. Загребин, Е.А. Свиридова, А.Н. Свиридов, А.В. Щагин // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 11(194). – С. 22–26.
2. Клеппманн, М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка / М. Клеппманн. – O'Reilly Media, 2017.
3. Ньюмен, С. Создание микросервисов : 2-е изд. / С. Ньюмен. – O'Reilly Media, 2021.
4. Ричардсон, К. Паттерны микросервисной архитектуры / К. Ричардсон. – Manning Publications, 2018.
5. Слаткин, Б. Эффективный Python: 90 конкретных способов улучшить свой код / Б. Слаткин. – Addison-Wesley Professional, 2019.
6. Рамальо, Л. Python. К вершинам мастерства. Лаконичное и эффективное программирование : 2-е изд. / Л. Рамальо. – O'Reilly Media, 2022.
7. Rogov, E. PostgreSQL 14 Internals / E. Rogov. – DMK Press, 2022.
8. Obe, R.O. PostgreSQL: Up and Running / R.O. Obe, L.S. Hsu. – O'Reilly Media, 2018.

References

1. Zagrebin, A.A. Primenenie algoritmov kompyuternogo zreniya v defektoskopii / A.A. Zagrebin, E.A. Sviridova, A.N. Sviridov, A.V. SHCHagin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 11(194). – S. 22–26.
2. Kleppmann, M. Vysokonagruzhennye prilozheniya. Programmirovanie, masshtabirovanie, podderzhka / M. Kleppmann. – O'Reilly Media, 2017.
3. Nyumen, S. Sozdanie mikroservisov : 2-e izd. / S. Nyumen. – O'Reilly Media, 2021.
4. Richardson, K. Patterny mikroservisnoj arkhitektury / K. Richardson. – Manning Publications, 2018.
5. Slatkin, B. Effektivnij Python: 90 konkretnykh sposobov uluchshit svoj kod / B. Slatkin. – Addison-Wesley Professional, 2019.

© M.O. Iglin, E.A. Sviridova, A.N. Sviridov, A.V. Shchagin, 2026

УДК 004.8:37.02

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ГРАФОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

В.С. КОВАЛЕНКО, Т.А. ИТС

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: искусственный интеллект; графовый метод; граф навыков; планирование учебного процесса; системный анализ; персонализация обучения; цифровая образовательная среда.

Аннотация: Цель исследования состоит в обосновании возможностей применения искусственного интеллекта и графового метода для планирования и организации учебного процесса. Гипотеза исследования заключается в том, что представление содержания учебного курса в виде графа навыков, дополненного интеллектуальной обработкой данных, позволяет повысить точность планирования, индивидуализацию обучения и эффективность управления учебным процессом. В работе использованы методы системного анализа, сравнительного анализа, графового моделирования, обобщения научных источников и структурно-функционального подхода. Полученные результаты показывают, что графовый метод обеспечивает формализацию учебного содержания, выявление логических зависимостей между темами и создание основы для применения ИИ в диагностике пробелов знаний и построении индивидуальных образовательных траекторий.

Введение

В теоретической и прикладной литературе показано, что одной из ключевых проблем образования является недостаточная индивидуализация, формализация обучения и высокая зависимость качества результатов от темпа усвоения материала отдельным учеником. Одновременно исследования по графам знаний и образовательным графовым моделям показывают, что структурирование учебного содержания в виде сети взаимосвязанных понятий и навыков позволяет повысить управляемость обучения и создать основу для интеллектуальной поддержки принятия решений [5; 6].

Актуальность данного исследования определяется необходимостью объединить два направления: с одной стороны, формализацию содержания учебного курса, а с другой – применение искусственного интеллекта как инструмента анализа, диагностики и управления учебным процессом. Особый интерес представляет графовый метод как способ представления учебного материала, пригодный для машинной обработки.

Цель работы – обосновать возможность применения искусственного интеллекта и графового метода для планирования и организации учебного процесса. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: выявить основные проблемы организации обучения; определить ограничения традиционного планирования; описать графовую модель учебного содержания; показать потенциал ИИ в диагностике и персонализации; сформулировать практические выводы для образовательной организации.

Проблемы обучения

Современная практика преподавания характеризуется рядом устойчивых проблем. В исследовательской литературе выделяются формализация и шаблонность обучения, что порож-

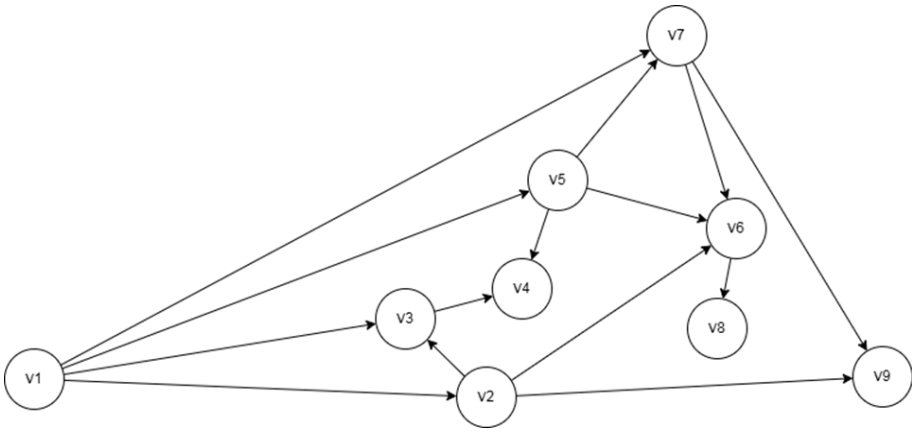


Рис. 1. Пример кластера графа

дает недостаточную дифференциацию учебного процесса, а также значительную нагрузку на учителя, вынужденного одновременно планировать, объяснять, диагностировать и корректировать образовательный маршрут.

Дополнительный фактор связан с цифровой трансформацией образования. С одной стороны, появляются инструменты автоматической проверки, генерации заданий и аналитики достижений учащихся, а с другой – без формализованной модели учебного содержания такие инструменты работают фрагментарно и не решают задачи целостного управления учебным процессом. Следовательно, требуется модель, которая одновременно отражала бы структуру предметного содержания и поддерживала бы алгоритмическую обработку данных [1]. Именно в этом контексте графовый подход становится особенно значимым. Он позволяет построить систему зависимостей между понятиями, умениями и контрольными элементами. Также данный подход позволят внедрить ИИ, так как метаданные организованы и структурированы, а это, в свою очередь, позволяет снизить коэффициент появления «галлюцинаций» ИИ.

Графовый метод как инструмент формализации содержания

Графовый подход позволяет представить учебный курс не как набор отдельных тем, а как систему взаимосвязанных понятий, умений и контрольных элементов. В основе метода лежит описание учебного содержания в виде графа $G = (V,E)$, где V – множество вершин, а E – множество связей между ними.

Стоит отметить опциональность подхода – нет необходимости в построении полноценного графа, который захватывает все темы предмета, достаточно построить кластер, который включает в себя ограниченный набор знаний, релевантных для изучения текущей темы.

Исследования графов знаний показывают, что для образовательной среды наиболее полезны предметно-ориентированные графы. В них фиксируются логические и методические связи между понятиями конкретной дисциплины. Для управления учебным процессом это особенно ценно, поскольку помогает выстраивать последовательность изучения материала и выявлять проблемные участки [3].

В практике применения ИИ в образовании существует проблема так называемых «галлюцинаций», которая выражается в подмене данных при генерации ответов на обращения. Данные исследования показывают, что технологии ИИ более точно работают со структурированными и организованными данными, которые подаются на вход. Данный аспект учитывается в теории графов, так как она учитывает представление в табличных данных, которые хорошо воспринимаются ИИ.

На рис. 1 можно увидеть пример кластера графа, составленный учителем математики, также эти данные интерпретируются в табличном виде (табл. 1). Применение графового методов предполагает выделение четких дидактических единиц (вершин) и присвоение им веса, данные вопросы методологически закрываются представителем учебной программы и использованием нормативной документации, что позволяет не отходить от запланированного учебного

Таблица 1. Табличное описание кластера графа

Вершина	Краткое содержание	Вес, ак.ч	Предшествующая вершина
*V*1	Определение квадратного уравнения	1	–
*V*2	Определение квадратной функции, график, свойства	2	[*V*1]
*V*3	Построение квадратной функции через преобразования	2	[*V*1, *V*2]
• • •			

плана и соответствовать федеральным государственным образовательным стандартам.

Для рассматриваемой темы целесообразна следующая схема работы интеллектуальной системы.

1. *Подготовка интеллектуальной системы*. В систему загружается методическая база для снижения уровня «галлюцинации», которая включает в себя: кластер графа в табличном виде, учебники, тесты и т.д.

2. *Подача данных на вход*. На вход системы подаются диагностические данные, которые проходят семантическую транскрипцию для работы с данными. Существующая ИИ модель анализирует материалы в рамках данного ей графа и методического материала.

3. *Результат обработки*. На выходе система выдает результат в табличном виде, который отражает уровень освоения каждой из вершин, а также рекомендацию по дальнейшей работе.

Данный подход поддерживает идею графов знаний в рамках организации учебного процесса, где граф подразумевается как динамическая модель персонализации обучения.

Обсуждение результатов

Анализ показывает, что графовый метод в совокупности с искусственным интеллектом может способствовать сужению круга ограничений, наложенных на организацию и управление учебным процессом. Данный подход позволяет снизить время обработки диагностических данных, повысить точность определения уровня знаний, а также позволяет применить системный подход к устранению пробелов группы учащихся. Еще анализ показывает, что наибольший эффект графовый подход дает в тех случаях, когда учебный процесс можно увидеть как систему связанных между собой блоков. В этом смысле он действительно полезен для повышения эффективности управления обучением. А если дополнить его инструментами искусственного интеллекта, можно заметно усилить результат, особенно там, где речь идет о проверке, распределении заданий и подготовке рекомендаций. Практическая ценность исследования заключается прежде всего в самом подходе, который здесь предложен. В перспективе он может стать основой для цифрового помощника преподавателя инструмента, который будет помогать с планированием и управлением учебным процессом. Графовая модель выступает как своего рода каркас предметной области, а искусственный интеллект как аналитический инструмент, который помогает замечать трудности и предлагать решения.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что искусственный интеллект и графовый метод хорошо дополняют друг друга в задачах планирования и организации учебного процесса. Графовый подход помогает структурировать содержание обучения, а интеллектуальная система обрабатывать данные и поддерживать принятие управленческих решений.

Таким образом, гипотезу можно считать подтвержденной лишь частично. В теории представление учебного курса в виде графа навыков, дополненного искусственным интеллектом, действительно может повысить точность планирования, сделать обучение более управляемым и создать условия для построения индивидуальных образовательных маршрутов. Но чтобы говорить об этом уверенно, нужна практическая апробация. Для нее важно заранее определить несколько показателей эффективности, например, общий уровень успеваемости контрольной группы и частоту обращений к инструменту. Этот вопрос еще требует дальнейшего изучения.

Литература

1. Бражникова, С.С. Реализация графовой структурно-функциональной модели обучения информационным и коммуникационным технологиям студентов, обучающихся по направлению подготовки «педагогическое образование», на основе совместной деятельности / С.С. Бражникова // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2025. – № 3(75).

2. Зимина, Е.И. Возможности применения искусственного интеллекта в обучении иностранному языку: опыт использования в языковом вузе / Е.И. Зимина, Н.Н. Кондакова // Перспективы Науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2025. – № 12(195). – С. 179–182.

3. Zwaneveld, B. Structuring Mathematical Knowledge and Skills by Means of Knowledge Graphs / B. Zwaneveld // International Journal of Mathematical Education in Science and Technology. – 2000. – Vol. 31(3). – P. 393–414. – DOI: 10.1080/002073900287165.

4. Кузьмина, Е.А. Формирование учебного плана на основе графовой модели / Е.А. Кузьмина, Г.Ф. Низамова // Информатика и образование. – 2020. – № 5(314). – С. 33–43. – DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-5-33-43.

5. Nabiyev, V. Application of Graph Theory in an Intelligent Tutoring System for Solving Mathematical Word Problems / V. Nabiyev, Ü. Çakıroğlu, H. Karal, A.K. Erümit, A. Çebi // Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education. – 2016. – Vol. 12(4). – P. 687–701.

6. Субботкина, З.Н. Проблемы преподавания математики в современной школе / З.Н. Субботкина // Проблемы науки. – 2020. – № 11(156).

References

1. Brazhnikova, S.S. Realizatsiya grafovoj strukturno-funktsionalnoj modeli obucheniya informatsionnym i kommunikatsionnym tekhnologiyam studentov, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki «pedagogicheskoe obrazovanie», na osnove sovmestnoj deyatelnosti / S.S. Brazhnikova // Uchenye zapiski. Elektronnij nauchnij zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2025. – № 3(75).

2. Zimina, E.I. Vozmozhnosti primeneniya iskusstvennogo intellekta v obuchenii inostrannomu yazyku: opyt ispolzovaniya v yazykovom vuze / E.I. Zimina, N.N. Kondakova // Perspektivy Nauki. – Tambov : TMBprint. – 2025. – № 12(195). – S. 179–182.

4. Kuzmina, E.A. Formirovanie uchebnogo plana na osnove grafovoj modeli / E.A. Kuzmina, G.F. Nizamova // Informatika i obrazovanie. – 2020. – № 5(314). – S. 33–43. – DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-5-33-43.

6. Subbotkina, Z.N. Problemy prepodavaniya matematiki v sovremennoj shkole / Z.N. Subbotkina // Problemy nauki. – 2020. – № 11(156).

© В.С. Коваленко, Т.А. Итс, 2026

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ

И.Д. КОЛДУНОВА[1], В.В. ЛИХАЧЕВ[1], В.А. АСТАПЧУК[2], А.А. ЕГОРОВ[1]

[1] АНОО ВО Центросоюза РФ «Сибирский университет потребительской кооперации»,
[2] ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
г. Новосибирск

Ключевые слова и фразы: искусственный интеллект; технологии искусственного интеллекта; сбор данных; анализ данных; генеративные модели; промпт.

Аннотация: Цель исследования заключается во внедрении технологий искусственного интеллекта в работу системы по автоматизированному сбору и анализу данных аукционных лотов с сайта. В работе рассмотрены актуальные направления развития, практические примеры реализации и потенциальные области применения технологий искусственного интеллекта в различных отраслях экономики и бизнеса. Определены перспективы и возможности применения данных технологий для автоматизации сбора и анализа данных, выявлены ключевые тенденции и дана оценка эффективности существующих подходов. Гипотеза исследования заключается в том, что использование технологий искусственного интеллекта в работе системы позволит повысить эффективность обработки неструктурированных данных. Результатом работы является внедрение генеративных моделей искусственного интеллекта в систему автоматизированного сбора и анализа данных аукционных лотов с сайта.

Введение

В современном мире данные имеют огромный потенциал для процессов принятия решений, однако традиционные методы анализа не способны справиться с большими объемами информации. Для эффективного управления этими потоками данных необходимы решения, позволяющие автоматизировать процессы их сбора, хранения и анализа. Одним из таких решений видится использование технологий искусственного интеллекта (**ИИ**). Например, отрасли промышленности, здравоохранения, финансов и торговли получают значительные преимущества от интеграции ИИ в повседневные рабочие процессы. Согласно исследованию НИУ ВШЭ, в отраслях российской экономики к 2035 г. затраты на использование технологий ИИ могут увеличиться в 12 раз, при этом ключевым ресурсом, согласно прогнозным оценкам, останутся квалифицированные работники [3] (рис. 1).

В Российской Федерации развитие технологий искусственного интеллекта поддерживается на государственном уровне. В утвержденной Национальной стратегии развития ИИ на период до 2030 г. [8] ставятся следующие задачи:

- поддержка научных исследований;
- разработка и развитие программного обеспечения;
- повышение доступности и качества данных;
- возрастание доступности аппаратного обеспечения;
- повышение обеспеченности рынка технологий.

Вопросам анализа возможностей применения искусственного интеллекта посвящено достаточное количество работ. В своем большинстве работы рассматривают применение ИИ на различных этапах автоматизации сбора данных, включая бизнес-аналитику и прогнозирование.

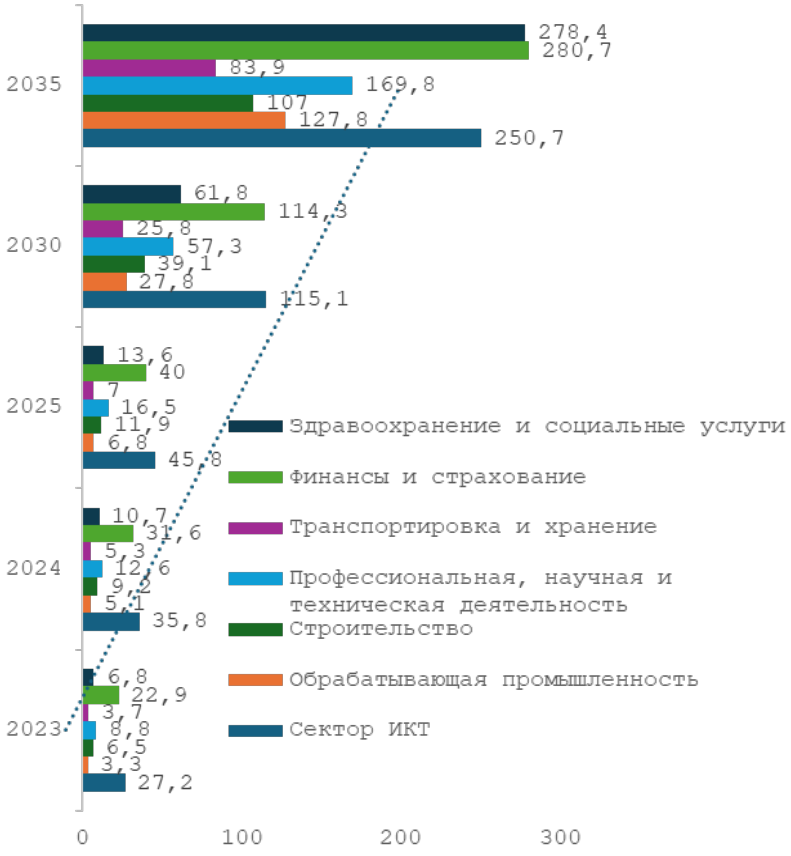


Рис. 1. Оценка затрат организаций на внедрение технологий ИИ (млрд руб.)

В работе И.В. Вешневой проведена классификация технологий ИИ, выявлены и структурированы возможные ограничения их роста. На основе проведенного исследования был предложен подход к структурированию оценок показателей внедрения технологий ИИ [2].

А.И. Поликарпова, А.В. Самочадин предлагают использовать генеративные технологии ИИ на этапе проектирования программного обеспечения, что позволяет снизить трудоемкость и сроки выполнения работ примерно на 30 % [7].

Анализ вариантов использования систем ИИ проведен в работе Е.А. Заяц, в которой автор в числе общих выделяет его значение для упрощения процесса «обработки больших массивов информации, что особенно полезно для ситуаций, требующих оперативного принятия решений» [4, с.18]

Целью исследования К.А. Моисеевой и др. является выявление эффективных методов и технологий интеграции искусственного интеллекта и машинного обучения в существующие информационные системы и оценка их влияния на процессы управления и аналитики [5].

Е.С. Артеменко в своей работе, проводя анализ накопленных попыток внедрения ИИ в бизнес-процессы, рекомендует проводить «комплексный анализ бизнеса с целью определения наиболее перспективных мест для применения умных технологий» [1, с. 200], встраивать элементы искусственного интеллекта в традиционный бизнес-процесс.

Методология исследования

Под ИИ будем понимать совокупность технологических решений, включающих информационно-коммуникационные технологии, программное обеспечение, системы по обработке данных и их анализу и позволяющих имитировать процессы мышления и принятия решений человеком.

Под технологией ИИ будем понимать «технологии, основанные на использовании искусственного интеллекта» [8].

В рамках разработки системы автоматизированного сбора и анализа данных аукционных

лотов было принято решение интегрировать технологии искусственного интеллекта для решения ряда задач, которые сложно формализовать традиционными алгоритмами.

Среди возможных технологий ИИ были рассмотрены:

- нейронные сети для распознавания и классификации текстовых описаний лотов;
- алгоритмы кластеризации для группировки лотов по схожим характеристикам;
- системы обработки естественного языка (*NLP*) для анализа текстовых описаний;
- генеративные модели для создания аналитических отчетов и рекомендаций.

Использование нейронных сетей позволяет быстро и точно определять категорию каждого нового товара или услуги, представленных в виде текстового описания. Сначала выполняется предварительная обработка текста (удаление ненужных символов, нормализация регистра, удаление стоп-слов и т.п.). Затем каждое слово представляется в виде числового вектора. Далее применяются глубокие нейронные сети (например, трансформеры типа *BERT*, рекуррентные сети типа *LSTM* или *GRU*, сверточные сети *CNN*), которые учатся выявлять ключевые признаки и закономерности в текстах и присваивать каждому описанию соответствующую категорию или класс. После успешного обучения и тестирования модель можно интегрировать в систему управления аукционами.

Кластеризация помогает выявить группы похожих друг на друга лотов даже тогда, когда заранее неизвестно точное число категорий или классов. Для начала выбираются наиболее значимые характеристики (цена, тип материала, бренд, назначение, размер, цвет и др.) и формируется матрица сходства объектов. Используют алгоритмы вроде *k-means*, иерархической кластеризации, *DBSCAN* или спектральной кластеризации, которые объединяют похожие лоты в однородные группы. Применение данных алгоритмов упрощает навигацию по каталогу, помогает покупателям быстрее находить аналогичные товары.

NLP применяется для глубокого семантического анализа содержания описаний, выявления скрытых смыслов и связей между объектами. Анализируются тексты описаний, выделяются важные понятия, атрибуты и свойства предметов. Система самостоятельно формирует короткие информативные резюме или выделяет главные моменты описания, помогающие покупателю принять решение. Реализуется интеллектуальная система поиска, позволяющая искать товары по естественным выражениям, а не только по ключевым словам.

Генеративные модели способны синтезировать новый контент на основе имеющихся данных, создавая полезные аналитические обзоры и персонализированные рекомендации. Модели (например, *GPT*-подобные архитектуры) формируют аналитические отчеты по результатам необходимых показателей.

После анализа требований и особенностей поставленной задачи было решено использовать генеративные *AI*-модели на основе архитектуры трансформеров (подобные *GPT*), которые позволяют эффективно обрабатывать неструктурированные текстовые данные и генерировать структурированные отчеты на их основе.

Предлагаемый подход

Для эффективного применения генеративной *AI*-модели важной задачей является разработка оптимального промпта – «текста, поступающего на вход языковой модели» [7, с. 43]. Разработка промпта проводилась итеративно с последовательным улучшением результатов. Представляет собой инструкцию, которая определяет, какие данные извлекать и как их структурировать.

В контексте данной работы промпт – это специальным образом сформулированный запрос к модели ИИ, который задает рамки и структуру ответа. Правильно составленный промпт позволяет получить от нейросети именно ту информацию, которая необходима для решения конкретной задачи, в нужном формате и с оптимальной точностью.

Сбор необходимой информации осуществляется системой в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

Приведем пример разработанного промпта для извлечения ключевой информации о лоте:

text

Ты – эксперт по анализу данных аукционных лотов. Пожалуйста, проанализируй следующее описание лота и извлеки из него структурированную информацию в *JSON*-формате со следующими полями:

– *id*_лота: идентификатор лота (если есть);

– категория_имущества: к какой катего-

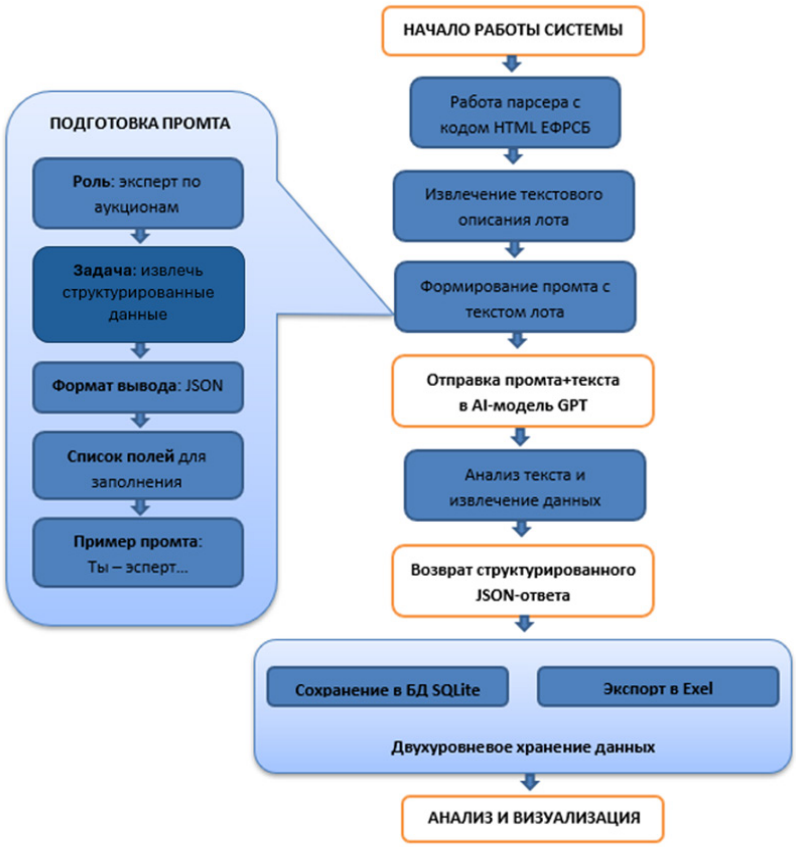


Рис. 2. Схема использования ИИ в информационной системе автоматизированного сбора и анализа данных

рии относится имущество (недвижимость, оборудование, транспорт и т.д.);

– наименование: полное наименование лота;

– описание: краткое описание лота;

– начальная_цена: числовое значение начальной цены (только число);

– валюта: валюта цены (*RUB*, *USD* и т.д.);

– шаг_аукциона: числовое значение шага аукциона (если указан);

– размер_задатка: числовое значение задатка (если указан);

– дата_начала_торгов: дата начала в формате ГГГГ-ММ-ДД;

– дата_окончания_торгов: дата окончания в формате ГГГГ-ММ-ДД;

– тип_торгов: тип (аукцион, публичное предложение и т.д.);

– организатор: наименование организатора торгов;

– контакты: контактная информация;

– регион: регион или адрес расположения имущества;

– ограничения: имеющиеся обременения (если указаны);

– особые_условия: особые условия участия (если указаны.

Если какая-то информация отсутствует в тексте, укажи *null* для соответствующего поля. Верни только *JSON* без пояснений.

Описание лота:

{текст_описания_лота}.

Обсуждение результатов

Интеграция технологий искусственного интеллекта в процессе сбора и анализа данных аукционных лотов позволила достичь следующих результатов.

Реализована автоматическая система извлечения структурированной информации из неформализованных текстовых описаний лотов. Если традиционный подход требовал разработки сложных регулярных выражений или правил для каждого типа описаний, то использование генеративных моделей обеспечивает адаптив-

ность к различным форматам данных автоматически.

Зафиксировано сокращение времени на обработку данных о лотах на 85 % по сравнению с традиционным программным подходом. Среднее время обработки одного лота составило в среднем 0,5–1,5 секунды в зависимости от объема текста, что позволило обрабатывать большие массивы данных в реальном времени.

Обеспечено улучшение качества анализа данных за счет возможности извлечения скрытых характеристик лотов, не представленных в формализованном виде. Например, модель может определить потенциальные проблемы с имуществом на основе текстового описания, что сложно сделать алгоритмическими методами.

Разработанная система не только извлекает данные, но и проводит их анализ и представляет его результат в виде графиков. Система может генерировать краткие резюме по каждому лоту, выделяя ключевые особенности и потенциальные риски или возможности.

До внедрения *AI*-подхода на обработку и анализ 100 лотов специалистам компании требовалось в среднем 8–10 человеко-часов. Большая часть времени (около 60 %) уходила на структурирование и категоризацию данных. После внедрения системы с применением промптов для генеративных моделей на обработку аналогичного объема данных требуется:

- 10–15 минут на запуск и настройку парсера;
- 5–10 минут на обработку данных генеративной моделью;
- 30–40 минут на проверку результатов и формирование итогового отчета.

Заключение

Искусственный интеллект постепенно внедряется во многие сферы человеческой деятельности, предлагая инновационные способы анализа данных и принятия решений.

Внедрение ИИ-технологий помогает организациям сократить затраты, повысить точность предсказательных моделей и снизить риск ошибок.

Исследование показало, что использование технологии искусственного интеллекта, в частности, генеративных моделей, для автоматизации сбора информации об аукционных лотах и представлении их в структурированном виде существенно повышает эффективность обработки неструктурированных данных и автоматизирует аналитическую работу.

Литература

1. Артеменко, Е.С. Системный анализ внедрения технологий искусственного интеллекта в бизнес-процессы / Е.С. Артеменко // Системный анализ в проектировании и управлении : сборник научных трудов XXVIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 27–29 июня 2024 года. – СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. – С. 194–202.

2. Вешнева, И.В. Технологии искусственного интеллекта: классификация, ограничения, перспективы и угрозы / И.В. Вешнева // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. – 2023. – Т. 23. – № 4. – С. 428–438.

3. Дранев, Ю.Я. Экономический эффект от внедрения технологий искусственного интеллекта в России / Ю.Я. Дранев, И.И. Кучин, М.И. Миряков // Искусственный интеллект. Серия информационно-аналитических материалов ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. – 2025. – № 17 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/1022067859.pdf.

4. Заяц, Е.А. Анализ вариантов использования искусственного интеллекта в создании программного обеспечения / Е.А. Заяц // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2023. – № 9(168). – С. 16–21.

5. Моисеева, К.А. Современные подходы к интеграции интеллектуальных систем в автоматизированные системы обработки информации и управления / К.А. Моисеева, И.А. Проворных, С.Н. Ефимов // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 9(180). – С. 32–34.

6. Панкрашов, А.С. Техники промпт-инжиниринга LLM / А.С. Панкрашов, С.В. Окладникова // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы XIII Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 28–31 мая 2024 года. – Астрахань : Астраханский государственный архи-

тектурно-строительный университет, 2024. – С. 42–48.

7. Поликарпова, А.И. Выполнение работ по формированию требований и проектированию программного обеспечения с использованием технологий искусственного интеллекта / А.И. Поликарпова, А.В. Самочадин // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 7(190). – С. 27–31.

8. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации : Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946.

References

1. Artemenko, E.S. Sistemnij analiz vnedreniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v biznes-protsessy / E.S. Artemenko // Sistemnij analiz v proektirovanii i upravlenii : sbornik nauchnykh trudov XXVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii. V 2-kh chastyakh, Sankt-Peterburg, 27–29 iyunya 2024 goda. – SPb. : Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij universitet Petra Velikogo, 2024. – S. 194–202.

2. Veshneva, I.V. Tekhnologii iskusstvennogo intellekta: klassifikatsiya, ogranicheniya, perspektivy i ugrozy / I.V. Veshneva // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo. – 2023. – T. 23. – № 4. – S. 428–438.

3. Dranev, YU.YA. Ekonomicheskij effekt ot vnedreniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v Rossii / YU.YA. Dranev, I.I. Kuchin, M.I. Miryakov // Iskusstvennij intellekt. Seriya informatsionno-analiticheskikh materialov ISIEZ NIU VSHE. – 2025. – № 17 [Electronic resource]. – Access mode : https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/1022067859.pdf.

4. Zayats, E.A. Analiz variantov ispolzovaniya iskusstvennogo intellekta v sozdanii programmnogo obespecheniya / E.A. Zayats // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2023. – № 9(168). – S. 16–21.

5. Moiseeva, K.A. Sovremennye podkhody k integratsii intellektualnykh sistem v avtomatizirovannye sistemy obrabotki informatsii i upravleniya / K.A. Moiseeva, I.A. Provornykh, S.N. Efimov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 9(180). – S. 32–34.

6. Pankrashov, A.S. Tekhniki prompt-inzhiniringa LLM / A.S. Pankrashov, S.V. Okladnikova // Potentsial intellektualno odarennoj molodezhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya : materialy XIII Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodykh uchenykh, innovatorov, studentov i shkolnikov, Astrakhan, 28–31 maya 2024 goda. – Astrakhan : Astrakhanskij gosudarstvennij arkhitekturno-stroitelnij universitet, 2024. – S. 42–48.

7. Polikarpova, A.I. Vypolnenie rabot po formirovaniyu trebovanij i proektirovaniyu programmnogo obespecheniya s ispolzovaniem tekhnologij iskusstvennogo intellekta / A.I. Polikarpova, A.V. Samochadin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 7(190). – S. 27–31.

8. O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federatsii : Ukaz Prezidenta RF ot 10 oktyabrya 2019 g. № 490 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72738946.

© И.Д. Колдунова, В.В. Лихачев, В.А. Астапчук, А.А. Егоров, 2026

УДК 004.056

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В КОНТЕКСТЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАЩИТЫ

М.В. КОЛИСТРАТОВ, Л.Е. БАХАРОВ, П.С. АРИСТОВА

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва

Ключевые слова и фразы: информационная безопасность; когнитивные искажения; социальная инженерия; фишинг; биометрическая аутентификация; *EEG*; *fMRI*; нейроадаптивные системы.

Аннотация: Человеческий фактор продолжает оставаться ключевым элементом уязвимости в системах информационной безопасности (**ИБ**). Несмотря на постоянное совершенствование технических средств защиты, значительная доля успешных кибератак обусловлена эксплуатацией фундаментальных нейрофизиологических и когнитивных особенностей человека. В данной статье проводится системный анализ того, как механизмы принятия решений, когнитивные искажения и эмоциональные реакции предопределяют поведение пользователя, делая его уязвимым к методам социальной инженерии. Цель работы – создать комплексную нейрофизиологическую модель уязвимости человека в киберпространстве. Методология включает интеграцию и анализ данных из нейронаук, когнитивной психологии и современных практик кибербезопасности. В результате выявлены конкретные нейробиологические механизмы (активация лимбической системы, подавление активности префронтальной коры), лежащие в основе успеха фишинга и других манипулятивных техник. Рассмотрены перспективные направления использования нейротехнологий для усиления защиты, включая системы нейроадаптивной аутентификации и биометрического мониторинга когнитивного состояния. Обсуждаются этические вызовы, связанные с применением таких технологий. Делается вывод о том, что повышение киберустойчивости требует междисциплинарного подхода, ориентированного не на борьбу с человеческой природой, а на создание симбиоза между пользователем и системой безопасности.

Введение

В последние годы информационная безопасность (**ИБ**) выходит за рамки технических решений и все в большей степени зависит от человеческого фактора – самого слабого звена безопасности. В связи с этим актуальность проблемы человеческого фактора в ИБ неуклонно растет. Пользователь, принимая решения и выполняя действия в цифровой среде, подвержен влиянию когнитивных ограничений, эмоциональных состояний и уровней стресса, которые существенно влияют на его поведение и устойчивость к угрозам.

Согласно отчету *Verizon Data Breach Investigations Report* 2023, более 74 % утечек данных вовлекают человеческий элемент, включая ошибки, использование украденных учетных данных и успешные атаки социальной инженерии [1]. Традиционные подходы к решению этой проблемы, такие как формальное обучение и тестирование на знание политик ИБ, демонстрируют ограниченную эффективность. Это обусловлено их ориентацией на рациональную, контролируемую систему мышления, в то время как большинство решений в условиях стресса и неопределенности принимаются на основе автоматических, эвристических процессов.

Противоречие между сложностью ИБ-правил и ограниченными когнитивными ресурсами пользователя создает устойчивую фунда-

ментальную уязвимость. Для ее преодоления необходим парадигмальный сдвиг: от восприятия человека как «слабого звена» к пониманию его как сложной биологической системы с присущими ей особенностями функционирования. Такой подход лежит в области нейрофизиологии и когнитивной науки.

Современные достижения в области нейронаук и когнитивной психологии позволяют глубже понимать механизмы принятия решений, оценивать уязвимости, связанные с когнитивной нагрузкой, и разрабатывать методы адаптации систем ИБ к состоянию пользователя. В статье рассматриваются современные модели когнитивной нагрузки и стрессоустойчивости, практические рекомендации и технологии биометрической аутентификации на основе нейроданных, а также этические и правовые аспекты использования нейротехнологий в ИБ.

Анализ литературы показывает растущий интерес к междисциплинарным исследованиям. Классические работы Д. Канемана и А. Тверски о двух системах мышления [2] заложили основу для понимания когнитивных искажений. Современные исследования, такие как работы К. Хэднетт [3], непосредственно связывают эти концепции с кибербезопасностью. Проводятся эксперименты с использованием электроэнцефалографии (***EEG***) и функциональной магнитно-резонансной томографии (***fMRI***), фиксирующие нейронную активность в момент принятия решений о доверии к фишинговым сообщениям [4].

Теоретическая основа: нейрофизиология принятия решений

Поведение человека в цифровой среде регулируется теми же нейробиологическими механизмами, что и в реальном мире. Центральную роль в этом процессе играет дуальная модель принятия решений [2], которая тесно связана с понятием когнитивной нагрузки.

Когнитивная нагрузка (**КН**) представляет собой суммарные умственные усилия, требуемые для восприятия, обработки и анализа информации, а также принятия решений в условиях ограниченного времени и ресурсов. Высокая КН снижает способность пользователя сосредоточиться на деталях и увеличивает вероятность ошибок, что критично в сферах, где безопасность зависит от корректных действий человека.

Исследования с применением электроэнцефалографии (**ЭЭГ**) и функциональной магнитно-резонансной томографии (*fMRI*) выявили корреляции между параметрами мозговой активности и уровнями КН [5; 6]. Особое внимание уделяется динамическим изменениям КН и возможности их прогнозирования с помощью моделей глубокого обучения, что позволяет создавать адаптивные системы, реагирующие на изменения когнитивного состояния пользователя.

Хронический стресс и переутомление усиливают негативное влияние КН, снижая эффективность исполнительных функций префронтальной коры, ответственной за анализ рисков и планирование [2; 3]. Эти состояния активируют эмоциональные центры лимбической системы, вызывая импульсивное поведение и снижают способность контролировать действия, что увеличивает уязвимость к социально-инженерным атакам, например, фишингу.

Мониторинг КН и эмоционального состояния с помощью биометрических и нейротехнологических средств становится перспективным направлением для предупреждения человеческих ошибок в ИБ. Такие системы могут своевременно информировать администратора или пользователя о критических состояниях, позволяя корректировать рабочие процессы и повышать уровень защиты.

Решающее влияние на успех социоинженерных атак оказывают когнитивные искажения в сознании пользователей. Рассмотрим влияние этих искажений на основе двух систем: «Система 1» и «Система 2». «Система 2» является медленной, аналитической. Она основана на логическом мышлении и опыте пользователя. «Система 1» – быстрая, автоматическая, эвристическая. Она ответственна за мгновенные реакции, но подвержена систематическим ошибкам – когнитивным искажениям, которые активно эксплуатируются в кибератаках.

Можно привести несколько примеров подобных когнитивных искажений.

– Эвристика доступности: склонность переоценивать вероятность событий, которые легко приходят на ум. Пользователь, никогда не сталкивавшийся с успешной атакой, недооценивает ее риск.

– Эффект доверия (*Authority Bias*): автоматическая склонность доверять и подчиняться авторитетам. Поддельное письмо от «*IT*-

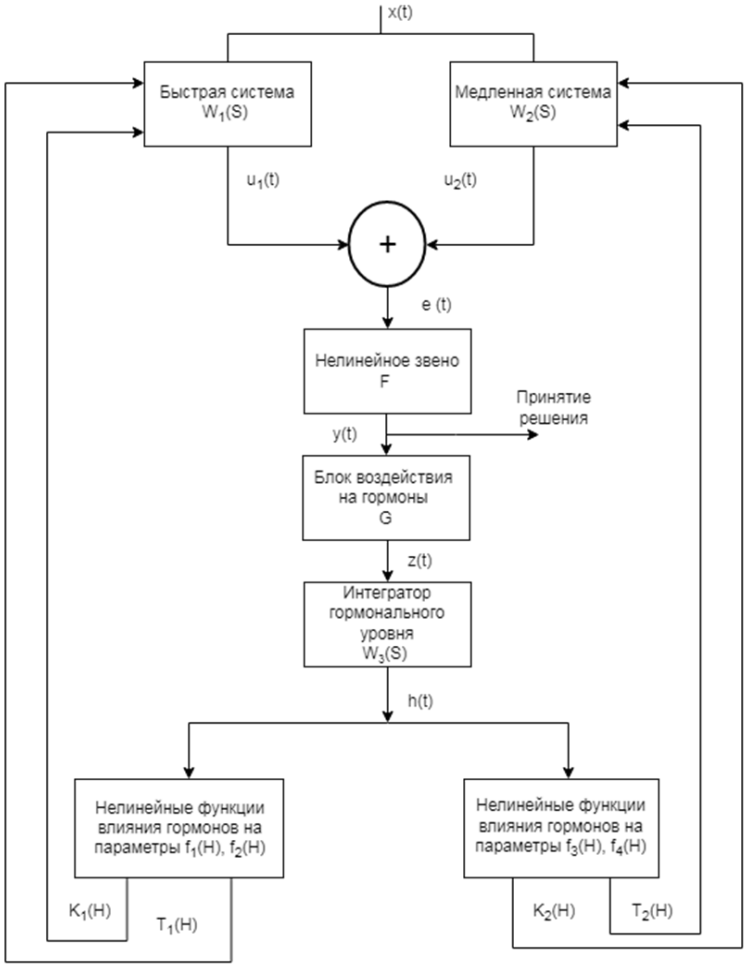


Рис. 1. Структурная схема системы принятия решений

отдела» или «руководства» имеет высокий шанс на успех.

– Эффект срочности и дефицита: сообщения, создающие искусственный дефицит времени или возможностей («Ваш аккаунт будет заблокирован через 2 часа!»), вынуждают «Систему 1» брать управление на себя, минуя аналитическую «Систему 2».

– Эффект рамки: решение зависит от формы подачи информации. Фраза «Не проигнорируйте это критическое обновление!» эффективнее, чем «Установите обновление».

За работой двух описанных выше систем стоят конкретные структуры мозга.

– Префронтальная кора (**ПФК**) является субстратом «Системы 2». Она отвечает за исполнительный контроль, оценку рисков, долгосрочное планирование и подавление импульсивных реакций.

– Лимбическая система (миндалевидное тело, амигдала) – ключевой компонент «Системы 1». Она обрабатывает эмоции (страх, жадность, любопытство) и запускает быстрые реакции.

– Нейрохимические модуляторы: дофамин участвует в системе вознаграждения и может подкреплять быстрое, но рискованное действие. Кортизол, гормон стресса, подавляет активность ПФК, затрудняя рациональный анализ.

Успешная атака социальной инженерии – это, по сути, кибератака на мозг, целью которой является подавление ПФК и активация лимбической системы.

Модель системы принятия решений пользователем можно представить в виде системы автоматического регулирования, структурная схема которой показана на рис. 1. При этом системы 1 и 2 можно представить как инерционные звенья с передаточными функциями:

$$W_1(s) = \frac{K_1(H)}{1 + s \cdot T_1(H)}, \quad (1)$$

$$W_2(s) = \frac{K_2(H)}{1 + s \cdot T_2(H)}, \quad (2)$$

где $H(t)$ – интегральный показатель уровня гормонов в момент времени t; $T_1(H)$ – постоянная времени системы 1; $T_2(H)$ – постоянная времени системы 2; $K_1(H)$ – коэффициент передачи системы 1; $K_2(H)$ – коэффициент передачи системы 2. При этом $T_1(H) << T_2(H)$ в силу различия скорости обработки информации в системах 1 и 2.

При воздействии на систему принятия решений стимула $x(t)$, на выходах систем 1 и 2 формируются сигналы $u_1(t)$ и $u_2(t)$ соответственно. Сумма этих сигналов

$$e(t) = u_1(t) + u_2(t) \quad (3)$$

воздействует на нелинейное звено F, вызывая принятие решения $y(t)$ (например, решения об открытии фишингового письма или перевода денег на «безопасный» счет) при превышении определенного порога:

$$y(t) = F(e(t)). \quad (4)$$

Сигнал $y(t)$ с выхода нелинейного звена F оказывает влияние на формирование соответствующих гормонов, формируя сигнал $z(t)$:

$$z(t) = G(y(t)). \quad (5)$$

Этот сигнал поступает на вход интегратора гормонального уровня с передаточной функцией:

$$W_3(s) = \frac{1}{T_3 \cdot s}. \quad (6)$$

На выходе интегратора гормонального уровня формируется сигнал H, характеризующий интегральный показатель уровня гормонов в текущий момент времени. Мгновенное значение данного сигнала $h(t)$ воздействует на нелинейные функции $f_1 \ldots f_4$, которые, в свою очередь, характеризуют влияние уровня гормонов на параметры передаточных функций 1 и 2:

$$K_1(H) = f_1(h(t)), \quad (7)$$

$$T_1(H) = f_2(h(t)), \quad (8)$$

$$K_2(H) = f_3(h(t)), \quad (9)$$

$$T_2(H) = f_4(h(t)). \quad (10)$$

Система уравнений (1)–(10) описывает работу модели системы принятия решений пользователем при любом воздействии, в том числе при реализации сценариев атак с применением технологий социальной инженерии. Однако выбор параметров и видов функциональных зависимостей для этой математической модели является достаточно сложной задачей и требует дополнительных исследований.

Нейрофизиология атак: эксплуатация уязвимостей мозга

Социальная инженерия является не искусством обмана, а формой точной нейрокибератаки, направленной на эксплуатацию предсказуемых шаблонов нейронной активности. Основные этапы такой атаки известны.

1. *Привлечение внимания.* Используются триггеры (персонализация, актуальные темы, громкие заголовки), которые активируют дофаминергические пути, связанные с поиском новизны.

2. *Создание эмоционального контекста.* Сообщение формулируется так, чтобы вызвать страх, жадность, чувство вины или срочности. Это приводит к гиперактивации амигдалы.

3. *Блокирование аналитического мышления.* Эмоциональная нагрузка и когнитивная перегрузка истощают ресурсы ПФК, что приводит к доминированию «Системы 1» и принятию импульсивного решения.

Пример: фишинговое письмо является идеальным нейрофизиологическим триггером. Упоминание бренда активирует доверие, срочность запускает выброс кортизола, кнопка «Войти и проверить» снимает дискомфорт от неопределенности. Исследования *fMRI* показывают снижение активности дорсолатеральной ПФК и повышение активности амигдалы при клике по фишинговым ссылкам [4].

Нейрофизиология защиты: перспективные направления

Понимание нейробиологии уязвимости от-

крывает пути для создания принципиально новых систем защиты, работающих с пользователем, а не против его природы.

Так, например, в настоящее время во многих странах создаются следующие нейроадаптивные системы безопасности.

1. *Биометрическая аутентификация на основе EEG.* «Мозговой пароль» – уникальная схема ритмов мозга, которую крайне сложно украсть. Система может осуществлять непрерывную аутентификацию в течение сеанса работы [7; 8].

2. *Детекция когнитивного состояния.* Встроенные камеры или носимые *EEG*-датчики отслеживают стресс или отвлеченность. При риске ошибок система может блокировать критические операции или упрощать интерфейс.

Все более широкое развитие получают системы нейрообучения и тренировки, например:

– *VR*-тренажеры, позволяющие в безопасной среде отрабатывать реакции на угрозы. Мозг учится распознавать паттерны атак и включать рациональное мышление (ПФК);

– методы нейрообратной связи, дающие возможность пользователю тренироваться регулировать уровень стресса и повышать устойчивость к манипуляциям.

Еще одним примером реализации нейротехнологий является нейродизайн интерфейсов. Принципы человекоориентированного дизайна можно дополнить нейроданными: интерфейсы должны минимизировать когнитивную нагрузку и не провоцировать панические реакции.

Можно сформулировать практические рекомендации для разработчиков систем защиты с использованием нейротехнологий.

– Проектировать интерфейсы с динамической адаптацией.

– Использовать предупреждения, снижающие эффект срочности.

– Внедрять обучение с *VR*/*AR* и симуляциями атак.

– Применять геймификацию и систему вознаграждений (дофаминергическая активация).

– Реализовывать нейроадаптивные системы мониторинга состояния пользователя [6].

Сравнивая биометрическую аутентификацию и современные нейротехнологии, можно увидеть, что на сегодняшний день классическая биометрия уязвима. Нейротехнологии (*EEG*) позволяют создать уникальные и устойчивые схемы [7; 8].

Применение глубокого обучения к ЭЭГ-сигналам повышает точность аутентификации. Нейросистемы учитывают когнитивный и эмоциональный статус, предотвращая ошибки в стрессовых состояниях [6; 7].

Кроме того, *VR*/*AR*-технологии успешно интегрируются в тренинги для сотрудников с целью повышения их устойчивости к социоинженерным атакам [19].

Этические и правовые вызовы использования нейротехнологий в ИБ

Сбор нейроданных порождает вопросы этики и права. Нейроданные могут раскрывать эмоции и убеждения, поэтому требуют строжайшей защиты. Этические аспекты включают в себя добровольное согласие, прозрачность процедур, право на забвение [9]. Правовые аспекты также важны. Подразумевается, что при развитии нейротехнологий международные стандарты должны регулировать хранение и использование нейроданных [10].

Появляется новое направление – нейроправо, регулирующее вмешательство в когнитивные процессы. При этом нейротехнологии успешно внедряются в реальные бизнес-процессы.

– Компании используют *ear-EEG* для непрерывной аутентификации [7].

– *VR*/*AR* применяются для обучения и тренинга сотрудников [19].

– Пилотные проекты показывают снижение числа инцидентов благодаря нейроадаптивным системам [18].

Перспективы и тенденции развития нейрокибербезопасности

На наших глазах нейрокибербезопасность становится ведущей областью, объединяющей нейронауку, технологии искусственного интеллекта и киберзащиту. Основными тенденциями этого динамичного и необратимого процесса являются:

– развитие самосупервизируемых моделей когнитивной нагрузки для адаптивных интерфейсов [20];

– создание компактных *EEG*-устройств [7];

– усиление нормативно-правовой базы в сфере защиты нейроданных [21];

– использование *VR*/*AR* для тренингов и мониторинга персонала [9; 18].

Будущее связывается с мультисенсорными нейросистемами и этическими нормами, которые позволят формировать безопасную цифровую среду.

Заключение

Современные стратегии ИБ требуют комплексного подхода, учитывающего антропоморфные факторы. Уязвимость человека имеет нейробиологические корни. Киберзащита все чаще работает не с брандмауэрами, а с когнитивными функциями и эмоциями пользователя.

Междисциплинарные исследования становятся ключом к безопасности: нейротехнологии и адаптивные системы способны превратить человека из «слабого звена» в активный элемент защиты. Успех этих технологий зависит от решения этических и правовых вопросов и внедрения международных стандартов.

Литература

1. Verizon. 2023 Data Breach Investigations Report. – New York : Verizon Business Group, 2023. – 112 p.
2. Kahneman, D. Thinking, Fast and Slow / D. Kahneman. – New York : Farrar, Straus and Giroux, 2011. – 512 p.
3. Hadnett, C. Neurosecurity: A Comprehensive Guide to the Neuroscience of Cybersecurity / C. Hadnett. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2019. – 350 p.
4. Ferreira, A. A Neuropsychological Study of Phishing Susceptibility / A. Ferreira, L. Coventry // Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – New York : ACM, 2022. – P. 1–12.
5. Asaadi, A.H. Effects and prediction of cognitive load on encoding model using EEG signals / A.H. Asaadi, S.H. Amiri, A. Bosaghzadeh, R. Ebrahimpour // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – Article 59411. – P. 1–15.
6. Longo, M. Modeling Cognitive Load as a Self-Supervised Brain Rate / M. Longo // arXiv preprint. – 2022. – No. arXiv:2209.10992. – 10 p.
7. Avola, D. An Investigation of Ear-EEG Signals for a Novel Biometric Authentication System / D. Avola, G. Crocetti, G.L. Foresti, D. Pannone, C. Piciarelli, A. Ranaldi, D. Vittucci // arXiv preprint. – 2025. – No. arXiv: 2507.12873. – 8 p.
8. Baraku, E. Advances in EEG-Based Biometric Authentication Using Deep Learning / E. Baraku, A. Welk [et al.]. // Journal of Artificial Intelligence and Technology. – 2024. – Vol. 16. – No. 4. – P. 210–225.
9. Kritika, A. Ethical Frontiers: Navigating the Intersection of Neurotechnology and Cybersecurity / A. Kritika // Scientific Archives. – 2025. – Vol. 8. – No. 1. – P. 45–60.
10. European Parliament. The protection of mental privacy in the area of neuroscience: Study Report. – Brussels : European Union, 2024. – 85 p.
11. Zielinska, O.A. Brain-Based Authentication: A Study of EEG-Based Biometric Identification / O.A. Zielinska, A.K. Welk, R. Tembe // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2021. – Vol. 16. – P. 4500–4515.
12. Nicholson, J. Measuring Cognitive Load in Cybersecurity Training / J. Nicholson [et al.] // Computers & Security. – 2020. – Vol. 95. – Article 101892. – P. 1–14.
13. Кефели, И.Ф. Когнитивная безопасность – на стыке науки и идеологии / И.Ф. Кефели // Материалы конференции. – СПб., 2022. – С. 120–130.
14. Социально-технологический центр. Статья о когнитивной безопасности // МГЮА, 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://social-tech.ru/novosti/2743.
15. Материалы семинара по когнитивной безопасности МГЮА. – М. : МГЮА, 2025. – 45 с.
16. Обзор нейротехнологий в биометрии. – М., 2025. – 30 с.
17. Обзор этических проблем нейроэтики и регулирования нейроданных // Open Access Journals, 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.openaccessjournals.com/articles/neuroethics-addressing-ethical-challenges-in-neuroscience-research-17952.html.
18. Отчеты пилотных проектов по нейроадаптивной ИБ: Ведущие технологические компании, 2024–2025. – 120 с.

19. Longo, M. Case studies on neuroadaptive training for phishing resistance using VR and EEG feedback in enterprise / M. Longo, 2022. – 25 p.

20. Longo, M. Emerging Trends in Cognitive Load Modeling for Cybersecurity Applications / M. Longo, 2022. – 18 p.

21. European Parliament. Neurolaw and Cybersecurity: Frameworks for Emerging Technologies. – Brussels : European Union, 2024. – 70 p.

References

13. Kefeli, I.F. Kognitivnaya bezopasnost – na styke nauki i ideologii / I.F. Kefeli // Materialy konferentsii. – SPb., 2022. – S. 120–130.

14. Sotsialno-tekhnologicheskij tsentr. Statya o kognitivnoj bezopasnosti // MGYUA, 2025 [Electronic resource]. – Access mode : https://social-tech.ru/novosti/2743.

15. Materialy seminara po kognitivnoj bezopasnosti MGYUA. – M. : MGYUA, 2025. – 45 s.

16. Obzor nejrotekhnologij v biometrii. – M., 2025. – 30 s.

17. Obzor eticheskikh problem nejroetiki i regulirovaniya nejrodannykh // Open Access Journals, 2025 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.openaccessjournals.com/articles/neuroethics-addressing-ethical-challenges-in-neuroscience-research-17952.html.

18. Otchety pilotnykh proektov po nejroadaptivnoj IB: Vedushchie tekhnologicheskie kompanii, 2024–2025. – 120 s.

© М.В. Колистратов, Л.Е. Бахаров, П.С. Аристова, 2026

УДК 004.021

МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ АГРЕГИРОВАННЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Д.В. МУРЗИН, А.Н. ПАНФИЛОВ

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск

Ключевые слова и фразы: интеллектуальная визуализация; агрегированные данные; анализ данных; системы поддержки принятия решений; машинное обучение; визуальная аналитика.

Аннотация: В статье рассматриваются методы интеллектуальной визуализации агрегированных данных в системах поддержки принятия решений. Основной целью исследования является анализ существующих подходов к визуальному представлению сложных многомерных данных и разработка методов, позволяющих повысить эффективность их интерпретации при решении управленческих задач. В работе исследуются современные средства визуализации, алгоритмы интеллектуальной обработки данных и методы интеграции аналитических инструментов в системы поддержки принятия решений. Предложенный подход основан на использовании методов машинного обучения и интерактивной аналитики для формирования адаптивных визуальных представлений агрегированной информации. Результаты исследования демонстрируют повышение точности анализа данных, сокращение времени обработки информации и улучшение качества принимаемых управленческих решений.

Введение

Современные информационные системы функционируют в условиях постоянного роста объемов данных, поступающих из различных источников. В таких условиях особую роль приобретают системы поддержки принятия решений (**СППР**), которые обеспечивают обработку, анализ и интерпретацию информации, необходимой для формирования управленческих решений.

В информационных системах управления предприятиями информационные технологии распределяются в соответствии с уровнями управления организацией. На операционном уровне используются системы обработки транзакций (*TPS*), обеспечивающие регистрацию текущих операций и накопление данных. На тактическом уровне применяются системы поддержки принятия решений (*DSS*), предназначенные для анализа информации и выбора управленческих решений [1]. Стратегический уровень управления поддерживается системами информационной поддержки руководителей (*ESS*), которые обеспечивают агрегированный анализ информации и формирование долгосрочных управленческих решений (рис. 1).

Представленная структура демонстрирует взаимосвязь между уровнями управления и соответствующими информационными системами. Системы поддержки принятия решений занимают промежуточное положение между операционными и стратегическими системами управления, обеспечивая аналитическую обработку данных и формирование рекомендаций для принятия управленческих решений [2].

Одной из ключевых проблем является представление агрегированных данных, объединяющих множество параметров и характеристик исследуемого объекта. Такие данные зачастую имеют сложную структуру и требуют применения специализированных методов визуализации для их эффективного анализа.

Интеллектуальная визуализация данных представляет собой совокупность методов, направленных на преобразование сложной анали-

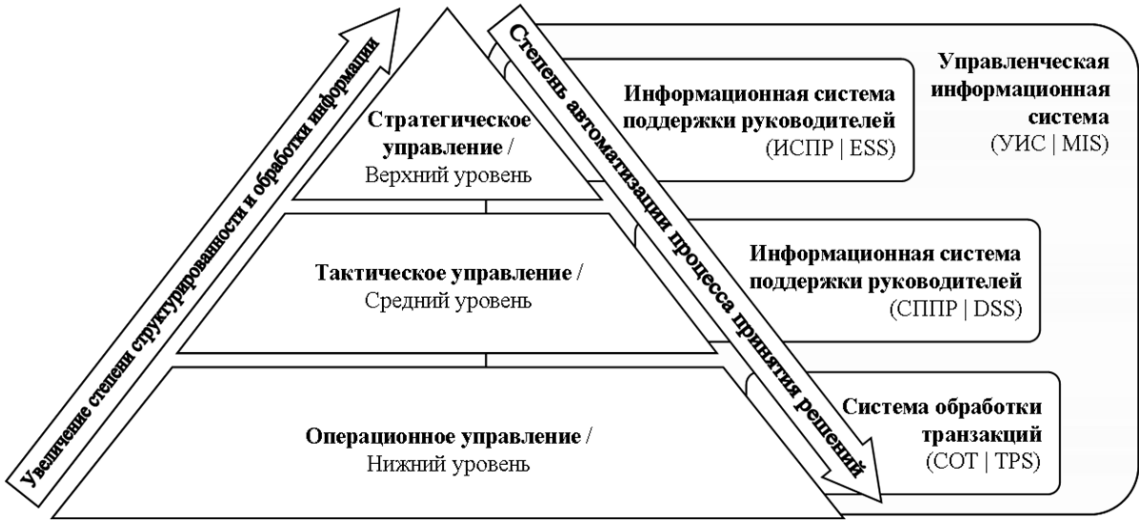


Рис. 1. Степень информационного обеспечения уровней управления организацией

тической информации в наглядные графические формы. Использование современных алгоритмов анализа данных, включая методы машинного обучения, позволяет значительно повысить информативность визуальных представлений и упростить процесс выявления закономерностей.

Целью данного исследования является анализ методов интеллектуальной визуализации агрегированных данных и разработка подходов к их применению в системах поддержки принятия решений.

Роль визуализации данных

Визуализация данных является важным инструментом анализа информации, позволяющим представить сложные аналитические показатели в удобной для восприятия форме. В системах поддержки принятия решений визуализация используется для анализа динамики показателей, выявления закономерностей и оценки текущего состояния исследуемых процессов [3].

Современные системы визуализации позволяют создавать интерактивные графические представления данных, включая диаграммы, тепловые карты, графики распределения и многомерные аналитические панели. Такие инструменты дают возможность пользователям самостоятельно исследовать данные, изменять параметры отображения и анализировать различные сценарии развития событий.

Особое значение визуализация приобретает при работе с агрегированными показателями, которые объединяют данные из различных источников и позволяют получить обобщенную оценку состояния системы.

При работе с агрегированными данными важным аспектом является выбор подходящего способа визуального представления информации. Неправильно выбранный тип визуализации может привести к искажению восприятия данных и затруднить процесс анализа. Поэтому современные системы поддержки принятия решений используют адаптивные методы визуализации, позволяющие автоматически выбирать наиболее подходящие графические формы представления данных в зависимости от их структуры и объема. Такой подход обеспечивает более точную интерпретацию информации и способствует повышению эффективности аналитических процессов.

Методы интеллектуальной обработки агрегированных данных

Интеллектуальная визуализация предполагает использование алгоритмов анализа данных, позволяющих автоматически выявлять скрытые зависимости и структурные особенности информационных массивов [4].

К наиболее распространенным методам интеллектуальной обработки данных относятся:

- методы кластерного анализа;
- алгоритмы классификации;
- регрессионные модели;

Таблица 1. Сравнение методов визуализации

Метод визуализации	Точность анализа (%)	Время обработки (с)	Удобство
Традиционные методы	76 %	14	Среднее
Интеллектуальная визуализация	92 %	9	Высокое

- методы выявления аномалий;
- алгоритмы прогнозирования.

Использование указанных методов позволяет не только выявлять закономерности в больших массивах данных, но и формировать интеллектуальные модели анализа информации. Такие модели способны автоматически адаптироваться к изменениям структуры данных и учитывать новые параметры, поступающие из различных информационных источников. В результате системы поддержки принятия решений получают возможность выполнять более глубокий аналитический анализ и формировать рекомендации для пользователей на основе объективных данных [5].

Интеграция интеллектуальных методов анализа в системы визуализации позволяет формировать динамические визуальные представления данных, которые адаптируются к структуре анализируемой информации.

Оценка эффективности интеллектуальной визуализации

Важным этапом разработки методов интеллектуальной визуализации является оценка их эффективности в условиях обработки реальных данных. Для этого необходимо провести сравнительный анализ традиционных методов визуализации и современных интеллектуальных подходов, основанных на применении алгоритмов машинного обучения. Такой анализ позволяет определить преимущества новых методов и оценить их влияние на скорость обработки информации и качество принимаемых решений.

Для оценки эффективности предложенных методов была проведена экспериментальная обработка набора агрегированных данных, характеризующих деятельность информационных систем.

В рамках исследования были рассмотрены два подхода: традиционные методы визуализации данных и методы интеллектуальной визуализации с использованием алгоритмов машинного обучения [6].

Результаты эксперимента в табл. 1 показывают, что применение интеллектуальных методов визуализации позволяет значительно повысить эффективность анализа агрегированных данных. Улучшение точности анализа связано с использованием алгоритмов машинного обучения, которые позволяют выявлять сложные взаимосвязи между параметрами системы [7].

Кроме того, применение интерактивных визуальных панелей значительно сокращает время обработки информации и облегчает процесс интерпретации аналитических данных.

Заключение

В ходе проведенного исследования были рассмотрены методы интеллектуальной визуализации агрегированных данных в системах поддержки принятия решений.

Показано, что использование современных алгоритмов анализа данных и интерактивных инструментов визуализации позволяет существенно повысить эффективность обработки информации.

Разработанные подходы позволяют улучшить качество аналитических выводов, ускорить процесс обработки данных и повысить обоснованность принимаемых управленческих решений.

Кроме того, развитие технологий анализа данных и искусственного интеллекта открывает новые возможности для совершенствования систем поддержки принятия решений.

Использование интеллектуальных методов обработки информации позволяет создавать более гибкие аналитические системы, способные автоматически выявлять закономерности и формировать визуальные представления данных без участия пользователя.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку адаптивных систем визуализации, способных автоматически выбирать оптимальные методы представления данных в зависимости от структуры и характера анализируемой информации.

Литература

1. Мурзин, Д.В. Визуализация, трансформация и анализ агрегированной информации в операционных системах и системах поддержки принятия решений / Д.В. Мурзин, А.Н. Панфилов // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 6(177). – С. 37–40. – EDN MJASZB.

2. Сараев, А.Д. Системный анализ и современные информационные технологии / А.Д. Сараев, О.А. Щербина // Труды Крымской Академии наук. – Симферополь : СОНАТ, 2016 – С. 47–59.

3. Sharda, R. Business Intelligence, Analytics, And Data Science: A Managerial Perspective / R. Sharda. – Pearson India, 2019. – 650 p.

4. Krohn, J. Deep Learning Illustrated: A Visual, Interactive Guide to Artificial Intelligence (Addison-Wesley Data & Analytics Series) / J. Krohn. – Addison-Wesley Professional, 2019. – 416 p.

5. Jaunzemis, A.D. Evidence Gathering for Hypothesis Resolution UUsing Evidential Reasoning / A.D. Jaunzemis, M.J. Holzinger, M.W. Chan, P.P. Shenoy // Journal of Information Fusion (submitted, in revision), 2018.

6. Lychkina, N.N. Strategic Development and Dynamic Models of Supply Chains: Search for Effective Model Constructions / Lychkina N.N. // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2018. – Т. 16. – P. 175–185.

7. Черепенин, В.А. Интеграция и оптимизация систем облачных, туманных и граничных вычислений: моделирование, задержки и алгоритмы / В.А. Черепенин, С.П. Воробьев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2024. – № 3(223). – С. 19–25. – DOI: 10.17213/1560-3644-2024-3-19-25. – EDN LKVVKM.

References

1. Murzin, D.V. Vizualizatsiya, transformatsiya i analiz agregirovannoj informatsii v operatsionnykh sistemakh i sistemakh podderzhki prinyatiya reshenij / D.V. Murzin, A.N. Panfilov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 6(177). – S. 37–40. – EDN MJASZB.

2. Saraev, A.D. Sistemnij analiz i sovremennye informatsionnye tekhnologii / A.D. Saraev, O.A. SHCHerbina // Trudy Krymskoj Akademii nauk. – Simferopol : SONAT, 2016 – S. 47–59.

7. CHerepenin, V.A. Integratsiya i optimizatsiya sistem oblachnykh, tumannykh i granichnykh vychislenij: modelirovanie, zaderzhki i algoritmy / V.A. CHerepenin, S.P. Vorobev // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 3(223). – S. 19–25. – DOI: 10.17213/1560-3644-2024-3-19-25. – EDN LKVVKM.

© Д.В. Мурзин, А.Н. Панфилов, 2026

УДК 004.8:658.7

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЛОГИСТИКИ И ЦИФРОВОЙ ТОРГОВЛИ: ОБЗОР ГИБРИДНЫХ, ОБЪЯСНИМЫХ И ЧЕЛОВЕКООРИЕНТИРОВАННЫХ ПОДХОДОВ

Т.М. ПАНЕШ[1], А.В. КОВАЛЕНКО[1], М.В. ШАРПАН[2]

[1] ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»;
[2] ФГКОУ ВО «Краснодарский университет
Министерства внутренних дел Российской Федерации»,
г. Краснодар

Ключевые слова и фразы: гибридные модели; искусственный интеллект; логистика; системы поддержки принятия решений; цифровая торговля; человек в контуре управления; объяснимый искусственный интеллект.

Аннотация: Цель исследования состоит в аналитическом обобщении современных подходов к интеграции методов искусственного интеллекта в системы поддержки принятия решений (**ИИ-СППР**) для логистики и цифровой торговли. Задачи исследования включают выделение основных направлений развития ИИ-СППР, анализ гибридных подходов, объяснимого искусственного интеллекта и механизмов человека в контуре управления, а также определение условий их управленческой применимости. Гипотеза исследования заключается в том, что практическая результативность интеллектуальных систем определяется не изолированной точностью прогнозных и оптимизационных моделей, а степенью их встроенности в единый управленческий контур, учитывающий ограничения, *KPI*, объяснимость и человеческую ответственность. В работе использованы методы аналитического обзора и сопоставительного анализа научной литературы 2020–2025 гг. по проблемам логистики, электронной коммерции, *XAI*, *HITL* и гибридных архитектур ИИ. В результате выделены четыре взаимосвязанных направления развития – ИИ в системах поддержки принятия решений, гибридные подходы, объяснимый искусственный интеллект и человек в контуре управления; показано, что устойчивый эффект внедрения ИИ достигается при согласовании прогнозного блока, механизма выбора альтернатив, процедур объяснения и регламентов человеческого участия. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и внедрении интеллектуальных систем в логистике и цифровой торговле.

Введение

Логистика и цифровая торговля в последние годы стали одним из наиболее интенсивных полигонов внедрения искусственного интеллекта. Переход к платформенным бизнес-моделям, сокращение операционных циклов, рост требований к скорости исполнения заказов и чувствительности потребителей к качеству сервиса усилили спрос на аналитические инструменты, способные работать в условиях высокой динамики [1–4; 19; 23]. На этом фоне ИИ-системы все чаще рассматриваются не как вспомогательный модуль, а как инфраструктурное ядро поддержки оперативных и тактических решений. Однако повышение точности моделей не эквивалентно повышению качества управления. Для логистики и электронной коммерции характерны конфликтующие цели, неоднородные ограничения и нестабильная среда. В этих условиях даже точный прогноз не гарантирует приемлемого управленческого действия, если выводы модели не встроены в процедуру выбора альтернатив, не согласованы с *KPI* и не поддер-

жаны организационными регламентами. Анализ публикаций 2020–2025 гг. показывает, что современная исследовательская повестка выстраивается вокруг четырех взаимосвязанных направлений: ИИ в системах поддержки принятия решений [1–4; 29], гибридных подходов [5; 8–9], объяснимого искусственного интеллекта [19–22; 28] и человека в контуре управления [23–27]. Дополнительно публикации по *DRIFT*/*MLOps* [10; 13–18] подчеркивают, что устойчивость эффекта ИИ требует мониторинга дрейфа и регламентов сопровождения. В результате акцент смещается от обсуждения отдельных алгоритмов к анализу целостного управленческого контура, в котором ИИ взаимодействует с оптимизационными процедурами, бизнес-правилами и человеческой экспертизой. Такой подход методологически соотносится с более широким классом работ, ориентированных на строгую формализацию сложных систем и исследование их аналитических свойств [30]. Цель статьи – представить аналитически насыщенный обзор указанной повестки и показать, при каких условиях связка «ИИ-СППР + гибридизация + *XAI* + *HITL*» повышает качество управленческих решений в логистике и цифровой торговле. В отличие от техноцентричных обзоров, акцент сделан на соотношении технологической результативности и управленческой применимости. В статье предлагается рассматривать практическую ценность ИИ в логистике и цифровой торговле не как функцию максимальной прогностической точности, а как функцию институциональной встроенности модели в управленческий контур. В этой логике зрелость контура определяется согласованным сочетанием четырех элементов: ИИ-СППР как аналитической основы, гибридизации как механизма исполнимости решений, объяснимости как условия принятия альтернатив и участия человека как носителя контекстной ответственности.

Методика обзора литературы

Обзор построен как аналитическое обобщение литературы 2020–2025 гг. с акцентом на наиболее зрелые публикации 2023–2025 гг. Выбор этого периода обусловлен тем, что именно в указанный интервал сформировался современный этап развития логистики и электронной коммерции, в котором ИИ рассматривается не только как инструмент прогнозной аналитики, но и как элемент управленческого контура [1–29]. В выборку включались систематические и аналитические обзоры [13; 15; 18–19], эмпирические исследования с прикладными постановками [1–7; 20–23; 25–27], работы по гибридным архитектурам и человекоориентированным контурам [8; 16–17; 24], публикации по *DRIFT*/*MLOps* [10–18], а также русскоязычные источники для терминологической и контекстной калибровки [28–29]. Публикация учитывалась, если в ней присутствовала явная постановка задачи поддержки принятия решений, описывалась связь модели с процедурой выбора управленческой альтернативы, обсуждались ограничения применимости и условия внедрения, а также фиксировались метрики эффекта, интерпретируемые в процессных терминах. Техноцентричные работы, ограниченные сравнением алгоритмов без управленческого контекста, исключались, поскольку цель обзора заключается не в ранжировании моделей по точности, а в анализе управленческой применимости ИИ в логистике и цифровой торговле. Аналитическая логика обзора строилась по четырем основным кластерам: ИИ-СППР [1–4; 29], гибридные подходы [5; 8–9], объяснимый искусственный интеллект [19–22; 28] и человек в контуре управления [23–27]. При этом публикации по *DRIFT*/*MLOps* [10–18] рассматривались как сквозной поддерживающий контекст, уточняющий условия результативности каждого из выделенных направлений. Для сопоставления подходов использовались единые аналитические вопросы: какую управленческую задачу решает подход, какие предпосылки необходимы для его результативности, где возникают ограничения, и как он влияет на качество решения в терминах исполнимости, устойчивости и ответственности. Такой дизайн обзора позволил перейти от линейного пересказа источников к сопоставительному анализу, в котором технологическая новизна оценивается через ее способность улучшать реальные управленческие решения.

ИИ в системах поддержки принятия решений для логистики и цифровой торговли

ИИ-СППР образуют базовый аналитический слой современного управления логистическими и торговыми процессами. В прикладных постановках они используются для прогнозирования спроса и времени доставки [1–4], а также

для поддержки планирования запасов, пополнения, отгрузок и распределения транспортных ресурсов [6–7; 29].

Их практическая ценность связана со способностью объединять разнородные данные и сокращать лаг между изменением состояния системы и реакцией управления.

Для электронной коммерции это означает более быструю адаптацию к изменению спроса, а для логистики – более точное распределение ограниченных мощностей по критическим участкам цепи. Поэтому основным показателем результативности ИИ-СППР выступает не точность сама по себе, а способность модели снижать долю управленчески неблагоприятных исходов: уменьшать дефицит, отмены, вариативность сроков исполнения, штрафы и репутационные потери [1; 3–5; 7].

Одним из наиболее показательных классов ИИ-СППР в электронной коммерции является прогнозирование и обещание сроков доставки, поскольку оно напрямую влияет на конверсию, удовлетворенность клиентов и последующие сервисные затраты.

В исследовании [1] предложен подход, основанный на данных, к оценке распределения времени доставки для новых заказов и формированию политики обещания сроков с учетом структуры процессов исполнения заказов; апробация проведена на реальных данных *JD.com* и в имитационном анализе.

Показано, что более точное обещание сроков доставки может обеспечивать заметный рост продаж за счет лучшего согласования сроков исполнения с ожиданиями клиентов.

Тем самым практический предел ИИ-СППР задают дрейф данных, рассогласование целевых функций с *KPI* и непрозрачность рекомендаций [10–18].

Следующий вопрос заключается в том, как связать прогноз с выбором исполнимых альтернатив в гибридном контуре.

Гибридные подходы как средство повышения практической применимости

Ограниченность изолированного использования ИИ в управленческих задачах обусловлена тем, что прогноз сам по себе не определяет действие. В логистике и цифровой торговле решения формируются в условиях ограничений по ресурсам, срокам и сервисным обязательствам, поэтому ценность модели возникает только при ее включении в процедуру выбора исполнимых альтернатив.

В этом контексте широкое распространение получили гибридные подходы, сочетающие ИИ с методами оптимизации и правилами предметной области [4; 6–9]. Такая интеграция позволяет преобразовать прогнозные оценки в конкретные управленческие решения, учитывающие ограничения и целевые показатели системы.

Типовая структура гибридных систем включает несколько взаимосвязанных компонентов:

1) прогнозный модуль, формирующий оценки спроса, времени доставки или других ключевых параметров;

2) оптимизационный блок, обеспечивающий выбор решений с учетом ограничений;

3) бизнес-правила и регламенты, отражающие операционные особенности системы;

4) механизм адаптации, учитывающий изменение внешних условий;

5) интерфейс взаимодействия с пользователем.

Ключевым эффектом гибридизации является переход от точности прогноза к исполнимости решения. Это особенно важно в задачах распределения запасов, маршрутизации и управления сроками доставки, где ошибка возникает не на этапе предсказания, а на этапе реализации решения.

При этом эффективность гибридных систем определяется согласованностью их компонентов. Даже высокая точность прогноза не приводит к улучшению результата, если оптимизационная модель не учитывает реальные ограничения или бизнес-правила искажают выходные рекомендации. В связи с этим важным направлением исследований становится проектирование согласованных архитектур, в которых прогноз, оптимизация и регламенты образуют единый управленческий контур.

Таким образом, гибридные подходы выступают ключевым механизмом трансформации ИИ из аналитического инструмента в средство практического управления, обеспечивая связь между прогнозом и действием.

Объяснимый ИИ как условие доверия и управленческой приемлемости решений

Для логистики и цифровой торговли объяснимость имеет прежде всего прикладное зна-

чение, поскольку рекомендации ИИ напрямую влияют на исполнение заказов, соблюдение *SLA*, структуру затрат и риск санкций со стороны платформ [19–22; 28]. В таких условиях решение, не имеющее понятного объяснения, либо отклоняется пользователем, либо применяется формально, что снижает эффект автоматизации.

В современной литературе обычно выделяются два класса объяснений: модельно ориентированные, показывающие вклад признаков в предсказание, и объяснения, ориентированные на принятие решения, раскрывающие причины выбора конкретной альтернативы и ожидаемые последствия ее применения [19–22]. Для управленческой практики второй класс особенно важен, поскольку менеджер принимает не прогноз, а решение.

Практическая ценность объяснимого искусственного интеллекта проявляется тогда, когда объяснение связывает модельный вывод с управляемыми факторами и действиями: пополнением, перераспределением, приоритетами обслуживания и параметрами политики. В работе [20] показано, что интерпретация факторов риска дефицита может использоваться для корректировки решений, что делает рекомендации более пригодными для регламентированного применения.

Организационный эффект объяснимого ИИ возникает только в том случае, если объяснение является операционно-релевантным: фиксирует значимые драйверы вывода, активные ограничения, чувствительность рекомендации к изменениям условий и последствия выбранной альтернативы для сервисных метрик, затрат и рисков. В этом случае объяснение становится частью процедуры выбора действия, а не декоративным комментарием к модели.

Таким образом, объяснимый ИИ повышает доверие к рекомендациям и делает их управленчески приемлемыми, однако его практическая ценность определяется степенью встроенности в контур проверки ограничений, рисков и последствий альтернатив.

Человек в контуре управления как механизм контролируемого внедрения ИИ

Концепция человека в контуре управления в логистике и цифровой торговле не сводится к формальному подтверждению рекомендации. В зрелых контурах человек участвует в постановке целей, калибровке ограничений, интерпретации неоднозначных ситуаций, принятии решений при конфликтующих критериях и последующем аудите результата [23–24]. Источники [25–27], посвященные взаимодействию человека и роботизированных систем на складе, рассматриваются здесь как смежный контекст человеко-машинного взаимодействия, а не как прямой эквивалент человека в контуре управления в ИИ-СППР.

Исследование [23] показывает, что более высокая способность ИИ-агента связана с ростом правильности и уверенности пользователей, однако участники с более высокой компетентностью реже полагались на рекомендации агента. Для логистических контуров это означает, что механизм человека в контуре управления должен проектироваться как средство калибровки доверия, а не как формальный этап согласования.

Участие человека целесообразно рассматривать по стадиям жизненного цикла системы.

На этапе проектирования определяются приоритеты *KPI*, допустимые компромиссы, правила эскалации и границы автономии алгоритма.

На этапе операционного применения человек интерпретирует контекст, слабо отраженный в данных: внеплановые изменения регламентов платформ, локальные инфраструктурные сбои, поведенческие реакции клиентов и межфункциональные ограничения.

На этапе мониторинга и пост-анализа оценивается, насколько рекомендация улучшила управленческий результат и в каких условиях модель начинает деградировать.

Таким образом, концепция человека в контуре управления выступает не ограничением автоматизации, а механизмом ее контролируемого применения. Его практическая ценность определяется четким распределением ролей, правилами эскалации и ясными границами автономии алгоритма.

Интеграция ИИ-инструментов в управленческий контур логистики и цифровой торговли

Рассмотренные в статье направления следует интерпретировать как взаимосвязанные компоненты единого управленческого контура, а не как изолированные технологические блоки. В этом контексте ИИ-СППР обеспечива-

ют аналитическую основу принятия решений, гибридные подходы повышают исполнимость рекомендаций, объяснимый искусственный интеллект делает их приемлемыми и проверяемыми для пользователя, а концепция «человек в контуре управления» обеспечивает ответственное применение решений в нестабильной операционной среде.

Практическая результативность определяется не отдельной моделью, а степенью согласованности между слоями контура. Если прогнозный блок не связан с механизмом выбора альтернатив, решения остаются слабо исполнимыми; если гибридный блок не сопровождается объяснимостью, рекомендации труднее принимать и проверять; если отсутствует ясный режим человеческого участия, возрастает риск формального или неконтролируемого применения алгоритмических выводов.

Поэтому ключевая линия развития ИИ в логистике и цифровой торговле связана не с автономизацией как таковой, а с усложнением механизма согласования между алгоритмом, системой ограничений и ответственным действием. Практически это требует одновременной настройки технической архитектуры, процессных регламентов и распределения ответственности.

Таким образом, ИИ-СППР, гибридизация, объяснимый ИИ и концепция «человек в контуре управления» образуют согласованный управленческий контур, совместно повышающий его аналитическую, организационную и операционную зрелость.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что практическая ценность ИИ в логистике и цифровой торговле определяется не точностью алгоритма в изоляции, а его способностью повышать качество управленческих решений в реальном операционном контуре. Поэтому центральной задачей становится не выбор «лучшей» модели как таковой, а проектирование архитектуры, обеспечивающей исполнимость, устойчивость и ответственность.

Переход от модельного вывода к управленческому действию требует согласования как минимум четырех элементов: прогноза состояния процесса, системы ресурсных и регламентных ограничений, объяснимости предложенной альтернативы и режима человеческой ответственности за ее принятие и последствия. Разрыв в любом из этих звеньев приводит к тому, что рекомендация оказывается либо формально корректной, но неисполняемой, либо технически убедительной, но организационно непринятой.

В этом смысле ИИ-СППР, гибридные подходы, объяснимый искусственный интеллект и человек в контуре управления следует рассматривать как взаимосвязанные компоненты единого управленческого контура. В условиях высокой динамики логистики и электронной коммерции устойчивый эффект создают те контуры, в которых аналитическая мощность алгоритма институционально связана с исполнимостью, объяснимостью и ответственным действием.

Литература

1. Salari M., Liu M., Shen Z.-J. M. Promising Better Delivery Times: Risk Analysis in E-Commerce Fulfillment // Manufacturing & Service Operations Management. – 2022. – Vol. 24. – No. 5. – P. 2641–2656. – DOI: https://doi.org/10.1287/msom.2022.1081.

2. Han D., Yan H., Wang Y. et al. Package delivery time prediction from urban-wide heterogeneous hypergraph // Expert Systems with Applications. – 2024. – Vol. 233. – Art. 121740. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121740.

3. de Araujo J.G.G., Etemad A. End-to-End Prediction of Parcel Delivery Time with Deep Learning for Smart-City Applications // IEEE Internet of Things Journal. – 2021. – Vol. 8. – No. 23. – P. 17043–17056. – DOI: https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3077007.

4. Derrow-Pinion A., She J., Wong D. et al. ETA Prediction with Graph Neural Networks in Google Maps // Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM). – 2021. – P. 3767–3776. – DOI: https://doi.org/10.1145/3459637.3481916.

5. Harder F.S., Schmidt M.M., Nielsen R.M. Combining machine learning and route optimization for a last-mile logistics network problem under uncertain demand: A case study from Copenhagen, Denmark // Computers & Industrial Engineering. – 2023. – Vol. 184. – Art. 109604. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109604.

6. Mohaqeqi H., Neumann T., Ehmke J.F. A benchmark data set and instance generator for dynamic and stochastic vehicle routing in city logistics // Data in Brief. – 2025. – Vol. 61. – Art. 111762. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111762.

7. Jayashree R., Naveena C., Abinaya K. et al. Explainable AI model for supply chain optimization and demand forecasting in retail sectors // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – No. 1. – Art. 26355. – DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-025-11510-z.

8. Maragno P., Pakter R., den Hertog D., Ceballos A. Data-driven robust inventory management in the presence of censoring and substitutability // Decision Support Systems. – 2020. – Vol. 136. – Art. 113340. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113340.

9. Kuzgunkaya O., El Housni O., Masmoudi M. et al. A simulation-based optimization approach to dynamic inventory replenishment in a serial supply chain under uncertain demand and lead time // International Journal of Production Research. – 2022. – Vol. 60. – No. 13. – P. 4117–4136. – DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1920927.

10. Vargas D.H., Farias C.M., Siqueira H., Ferrari D.G. Frouros: An open-source Python library for drift detection in machine learning systems // SoftwareX. – 2024. – Vol. 26. – Art. 101733. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.softx.2024.101733.

11. Sisniega J., Diskin G., Delavergne J.-M., Escandell-Montero N. A scalable and serverless covariate drift detector for production ML applications // Future Generation Computer Systems. – 2024. – Vol. 161. – P. 174–188. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.future.2024.07.010.

12. Kore A., Abbasi Bavil E., Subasri V. et al. Empirical data drift detection experiments on real-world medical imaging data // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1887. – DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-024-46142-w.

13. Suarez-Cetrulo H., Correa D., Becerra A., Geaquinto F. A survey on adaptive learning under concept drift evolution // Expert Systems with Applications. – 2023. – Vol. 213. – Art. 118934. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118934.

14. Cheung T.-H., Bifet A., de Francisci Morales G. Benchmarking unsupervised concept drift detection online // International Journal of Data Science and Analytics. – 2025. – Vol. 19. – P. 1–31. – DOI: https://doi.org/10.1007/s41060-024-00620-y.

15. Nawrocki P., Kosinski W., Zielinski M. The MLOps Cookbook // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 31866–31879. – DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3262138.

16. Kumara I., Ludwig H.A., Matzner M.-A. A MLOps Framework and Maturity Model // 2021 47th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA). – 2021. – P. 1–8. – DOI: https://doi.org/10.1109/SEAA53835.2021.00050.

17. John M.M., Holmstrom Olsson H., Bosch J. An empirical guide for applying MLOps in organizations // Information and Software Technology. – 2025. – Vol. 183. – Art. 107725. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.infsof.2025.107725.

18. Zarour M., Alzabut H., Al-Sarayreh K. T. MLOps implementation in software development lifecycle: A systematic literature review // Information and Software Technology. – 2025. – Vol. 183. – Art. 107733. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.infsof.2025.107733.

19. Olan F., Spanaki K., Ahmed W., Zhao G. Enabling explainable artificial intelligence capabilities in supply chain decision support making // Production Planning & Control. – 2025. – Vol. 36. – No. 6. – P. 808–819. – DOI: https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2313514.

20. Serrano J., Olivares-Carrillo P. Explainable machine learning for predictive modeling in smart industry: A case study of inventory backorder prediction // Sensors. – 2021. – Vol. 21. – No. 23. – Art. 7926. – DOI: https://doi.org/10.3390/s21237926.

21. Luo Y., Schulte F., Schembera B. The role of explanations in human-AI collaboration: A mutual trust calibration perspective // International Journal of Human-Computer Studies. – 2023. – Vol. 169. – Art. 102941. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102941.

22. Yang G., Yu H., Song Y., Guo Z. Human-centred explainable AI: The impact of user cognitive style and XAI method on trust and reliance behaviour // Computers in Human Behavior. – 2023. – Vol. 139. – Art. 107539. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107539.

23. Lam J., Phelps A.M., Hussein M.H. et al. The effects of users' competence and AI assistance strength on user confidence and decision performance in intelligent decision support systems //

International Journal of Industrial Ergonomics. – 2024. – Vol. 103. – Art. 103629. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.ergon.2024.103629.

24. Dall'Alba D., Angelini E., Natale F., Guerriero F. From human-in-the-loop to human between the loops: User-centered AI and the role of humans in complex decision-making and predictive analytics // Foresight. – 2022. – Vol. 24. – No. 1. – P. 4–19. – DOI: https://doi.org/10.1108/FS-09-2021-0183.

25. Laribi S., Tamssaouet K., El Hilali Alaoui A. et al. An efficient human-robot collaborative order picking strategy considering humans' learning and fatigue effects // Advanced Engineering Informatics. – 2022. – Vol. 53. – Art. 101681. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101681.

26. Stein M., Bohme T., Freigang S. et al. Who shall lead? Investigating the effects of human-led and robot-led order picking processes on workers' job satisfaction // International Journal of Production Research. – 2023. – Vol. 61. – No. 22. – P. 7776–7790. – DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2183343.

27. Shi K.Y., Meller R.D., Chen F.F., Safaei B. Human-autonomous mobile robot teaming and dynamic order picking in warehouse operations // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2025. – Vol. 197. – Art. 104082. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104082.

28. Макарова, А.А. Объяснимый искусственный интеллект в системах поддержки принятия решений / А.А. Макарова, Г.Ф. Малыхина // Промышленный искусственный интеллект : труды Всероссийской научно-практической конференции (ПИИ'2025). – СПб., 2025. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/id25-522.

29. Садриева, Е.Ф. Применение систем поддержки принятия решений в автоматизации процесса принятия решений / Е.Ф. Садриева, Т.М. Гатауллин // Вестник современных исследований. – 2025. – Т. 28. – № 1. – С. 163–183. – DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-1-163-183.

30. Чубырь, Н.О. Асимптотическое решение краевой задачи для стационарной расширенной системы уравнений Нернста – Планка и Пуассона / Н.О. Чубырь, А.В. Коваленко, М.Х. Уртенов, З.М. Лайпанова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 2(173). – С. 72–81.

References

28. Makarova, A.A. Obyasnimij iskusstvennij intellekt v sistemakh podderzhki prinyatiya reshenij / A.A. Makarova, G.F. Malykhina // Promyshlennij iskusstvennij intellekt : trudy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii (PII'2025). – SPb., 2025. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/id25-522.

29. Sadrieva, E.F. Primenenie sistem podderzhki prinyatiya reshenij v avtomatizatsii protsessa prinyatiya reshenij / E.F. Sadrieva, T.M. Gataullin // Vestnik sovremennykh issledovanij. – 2025. – T. 28. – № 1. – S. 163–183. – DOI: 10.26907/1562-5419-2025-28-1-163-183.

30. CHubyr, N.O. Asimptoticheskoe reshenie kraevoj zadachi dlya statsionarnoj rasshirennoj sistemy uravnenij Nernsta – Planka i Puassona / N.O. CHubyr, A.V. Kovalenko, M.KH. Urtenov, Z.M. Lajpanova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 2(173). – S. 72–81.

© Т.М. Панеш, А.В. Коваленко, М.В. Шарпан, 2026

УДК 004.8:658.7

ФОРМАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО КОНТУРА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЛОГИСТИКЕ И ЦИФРОВОЙ ТОРГОВЛЕ

Т.М. ПАНЕШ[1], А.В. КОВАЛЕНКО[1], М.В. ШАРПАН[2]

[1] ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»;
[2] ФГКОУ ВО «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации», г. Краснодар

Ключевые слова и фразы: искусственный интеллект; логистика; многокритериальная оптимизация; робастность; системы поддержки принятия решений; управленческий контур; цифровая торговля.

Аннотация: Целью исследования является формализация управленческого контура искусственного интеллекта в логистике и цифровой торговле в условиях неопределенности, многокритериальности и ресурсно-регламентных ограничений. В работе решаются задачи определения структуры управленческого контура, описания взаимосвязи прогнозного, оптимизационного и институционального блоков, а также введения меры чувствительности решения к стресс-возмущениям данных. Исходная гипотеза состоит в том, что вычислительно оптимальное решение не тождественно управленчески применимому, если отсутствует институциональный слой валидации, согласующий прогнозные и оптимизационные процедуры с системой *KPI* и регламентами принятия решений. Использованы методы формализации управленческих процессов, элементы многокритериальной оптимизации и сценарная интерпретация робастности решений. Предложена формальная схема управленческого воздействия, включающая прогнозный, оптимизационный и институциональный компоненты, а также меру чувствительности решения; показано, что робастность выступает необходимым условием управленческой устойчивости. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и внедрении интеллектуальных систем поддержки принятия решений в логистике и цифровой торговле.

Обозначения

S_t – состояние системы; D_t – наблюдаемые данные; C_t – множество ограничений; K – вектор целевых показателей; x, X – альтернатива и множество альтернатив; U_t – управленческое воздействие; $\hat{P}_t$ – прогнозные оценки параметров среды и спроса; $\mathcal{M}(\cdot)$ – прогнозный блок; $\mathcal{O}(\cdot)$ – оптимизационный блок; $\mathcal{H}(\cdot)$ – институциональный блок; Ω – множество допустимых стресс-возмущений; $R(D_t)$ – мера чувствительности (робастности) решения.

Введение

Управленческие задачи в логистике и цифровой торговле решаются в условиях высокой динамики спроса, неполноты данных и жестких ресурсно-регламентных ограничений. Практика показывает, что вычислительно оптимальное решение не гарантирует приемлемого управленческого эффекта: при рассогласовании целевой функции модели с фактической системой *KPI* подразделений возникают операционные потери и деградация качества решений в эксплуатации.

Вычислительная оптимальность не тождественна управленческой приемлемости. В прикладном контуре ИИ-решение оценивается не только по точности прогноза или значению целевой функции, но и по исполнимости в организационной среде, где одновременно действуют ресурсные ограничения, регламенты платформ и процедуры ответственности.

Применение ИИ в логистике и электронной коммерции целесообразно рассматривать как взаимодействие трех взаимосвязанных слоев: аналитического, оптимизационного и институционального. Прогнозный слой формирует оценки состояния спроса и рисков, оптимизационный переводит их в управленческую альтернативу с учетом ограничений, а институциональный обеспечивает включение решения в систему *KPI* и регламентов принятия решений [1–4]. Во многих прикладных постановках эти элементы рассматриваются раздельно, что затрудняет оценку устойчивости решений в стресс-сценариях и ослабляет связь между модельным результатом и фактическим качеством управления. Необходимость строгой формализации сложных систем и аналитического исследования их свойств подтверждается и в работах, ориентированных на построение асимптотических решений и исследование связанных краевых задач [13].

В статье предлагается единая формальная схема управленческого контура с явным институциональным компонентом и мерой чувствительности, позволяющей оценивать устойчивость итогового решения при стресс-возмущениях. Практическая значимость работы состоит в совместном рассмотрении многокритериальных требований, ограничений исполнения и процедур управленческой валидации в рамках одной постановки.

Постановка задачи и формализация управленческого контура

Рассматривается операционный контур принятия решений в дискретные моменты времени *t*. Формальная постановка задачи состоит в поиске управленческого воздействия U_t (эквивалентно – выбору альтернативы $x \in X$), которое в состоянии S_t и на основе данных D_t обеспечивает достижение целевых показателей K при соблюдении ограничений C_t. Здесь S_t описывает текущую конфигурацию управляемого объекта, D_t фиксируют наблюдаемые данные потока, включая неполноту, шум и задержки обновления, C_t задает ресурсные, технологические и регламентные рамки, а вектор K формализует критерии качества управления.

Для цифровой торговли и интернет-логистики вектор K включает показатели своевременности и полноты исполнения, обеспеченности спроса остатками, вариативности сроков доставки, а также метрики операционных потерь и платформенных штрафно-рейтинговых эффектов. Пространство управленческих воздействий U_t охватывает решения о пополнении и перераспределении запасов, приоритизации отгрузок, распределении заказов по складам или пунктам выдачи и обработке возвратов.

Управленческое воздействие U_t задается композицией трех функциональных блоков:

$$U_t = \mathcal{H}\left(\mathcal{O}\left(\hat{P}_t, C_t, K\right)\right), \tag{1}$$

где прогнозный блок формирует оценки параметров среды и спроса:

$$\hat{P}_t = \mathcal{M}\left(D_t\right). \tag{2}$$

В этой схеме $\mathcal{M}(\cdot)$ извлекает прогностическую информацию из текущих данных, $\mathcal{O}(\cdot)$ формирует вариант управленческой альтернативы при заданных ограничениях и целях, а $\mathcal{H}(\cdot)$ задает институциональные условия реализации решения в процессе исполнения [4–12].

Оптимизационный слой работает в многокритериальной постановке: для альтернативы $x \in X$ оценивается вектор:

$$K(x) = \left(k_1(x), \ldots, k_m(x)\right), \tag{3}$$

и решение считается допустимым только при согласовании ключевых метрик с организационными порогами и активными ограничениями. Если институциональный слой не задан явно, контур редуцируется к

$$U_t = \mathcal{O}\left(\hat{P}_t, C_t, K\right), \tag{4}$$

что формально корректно, но управленчески неполно, поскольку ослабляет связь между модельной целью и фактическими *KPI* подразделений.

Для проверки устойчивости контура к стресс-возмущениям данных вводится мера чувствительности

$$R\left(D_t\right) = \sup_{\delta \in \Omega} \left\| U_t\left(D_t + \delta D\right) - U_t\left(D_t\right), \right. \tag{5}$$

где Ω описывает класс допустимых возмущений, включая сдвиги спроса, сбои поставок,

Таблица 1. Иллюстративный пример управленческой чувствительности решений

SKU	Профиль (спрос/ выкуп/остаток)	Базовое U_t	Стресс	Реакция U_t	Чувств.	Режим $\mathcal{H}$
A	высокий/высокий/нулевой	Плановое пополнение; стандартный режим	Рост спроса	Срочное пополнение; ограничение продвижения	Высокая	Эскалация
B	высокий/высокий/нулевой	Плановое пополнение с контролем сервиса	Ухудшение логистики	Приоритетное пополнение; проверка логистики	Средняя	Коррекция; эскалация
C	средний/низкий/ нулевой	Ограниченное пополнение	Рост отказов и отмен	Проверка отказов/отмен; затем пополнение	Высокая	Обязательная эскалация
D	высокий/высокий/высокий	Поддерживающее пополнение по графику	Умеренный рост спроса	Слабое изменение: базовый план сохраняется	Низкая	Автоматическое применение

изменения тарифов и регламентов. Выражения (1)–(5) задают единую схему выбора управленческого воздействия при заданных S_t, D_t, C_t и K, в которой прогнозный, оптимизационный и институциональный блоки образуют единый управленческий контур.

Анализ робастности и управленческой устойчивости решений

Опираясь на формализацию предыдущего раздела, устойчивость управленческого воздействия анализируется через меру $R(D_t)$, введенную в (5). Эта величина фиксирует амплитуду изменения итогового решения U_t при допустимых возмущениях входной информации и условий функционирования, а также изменение достигнутого компромисса по вектору критериев K при активных ограничениях C_t [5; 7]. Тем самым оценивается не только реакция контура на сдвиг данных, но и устойчивость многокритериального баланса, лежащего в основе управленческого выбора.

В прикладном контуре множество стресс-возмущений Ω целесообразно задавать через типовые операционные режимы: промоактивность, сезонные пики, смену ассортимента, изменение тарифов, изменение регламентов платформ, ограничения последней мили и сбои складской инфраструктуры. В этой постановке робастность характеризует устойчивость решения не в абстрактной среде, а при конкретных структурных сдвигах, регулярно возникающих в логистике и цифровой торговле.

Большие значения $R(D_t)$ соответствуют высокой чувствительности и, следовательно, малой робастности решения; малые значения $R(D_t)$ указывают на устойчивость управленческого воздействия в стресс-сценариях. При высокой чувствительности даже локальные возмущения переводят решение в иной режим компромисса по *KPI*: выигрыш по одной метрике достигается ценой ускоренного ухудшения других, а часть пороговых требований переходит в зону риска нарушения.

Следовательно, формально оптимальное решение в точке расчета не обязательно является устойчивым в управленческом контуре. Оптимум, полученный для «среднего» прогноза, может оказаться хрупким: малые ошибки данных или изменение ограничений вызывают непропорциональные сдвиги в рекомендациях. Это проявляется в неправильном перераспределении ресурсов, росте доли отказов и срывах *SLA*, увеличении логистических затрат и недополучении выручки.

В связке с выражением (1) высокая чувствительность должна интерпретироваться как операционный сигнал для институционального блока $\mathcal{H}(\cdot)$, который определяет допустимость применения решения. В таких условиях требуется переход от автоматического применения к институциональной процедуре: эскалация, дополнительная проверка допущений и качества данных, а при необходимости – отказ от немедленного исполнения рекомендации до завершения валидации.

Таким образом, робастность следует рас-

сматривать как критерий пригодности решения к исполнению, а не только как свойство модели. Управленчески приемлемым является такое воздействие, которое при возмущениях из множества Ω сохраняет допустимый баланс *KPI* и остается допустимым в рамках институционального слоя $\mathcal{H}(\cdot)$.

Иллюстративный пример управленческой чувствительности на данных маркетплейса

В качестве иллюстрации использованы агрегированные данные четырех товарных позиций маркетплейса, представленных в обезличенном виде как *SKU A–D*. В примере оценивается не абсолютная точность прогноза, а степень перестройки управленческого воздействия U_t при стресс-возмущениях и связанный с этим режим применения рекомендации через институциональный слой *H*.

Пример показывает, что $R(D_t)$ в прикладной интерпретации выступает мерой чувствительности именно управленческого решения U_t: от низкой (*SKU D*, решение почти не меняется) через среднюю (*SKU B*, корректирующая перестройка) к высокой (*SKU A* и *SKU C*, резкая перестройка решения). Соответственно, $\mathcal{H}(\cdot)$ выполняет функцию разграничения режимов применения рекомендации – автоматическое применение, корректирующее вмешательство и эскалация на дополнительную валидацию.

Ограничения применимости и условия внедрения

Применимость формализованного контура в операционной среде ограничена прежде всего качеством данных и инфраструктурой их обработки. Неполнота, шум, задержки обновления и несогласованность источников повышают чувствительность решения ко входным возмущениям и снижают устойчивость управленческого воздействия даже при корректной постановке задачи [1; 2; 11; 12].

Существенным ограничением остаются дрейф среды и переносимость моделей во времени. Изменения спроса, структуры заказов и правил платформ приводят к расхождению между предпосылками модели и фактическим режимом работы, поэтому контур требует регулярного мониторинга входных распределений и эксплуатационных метрик качества с заранее заданными порогами диагностики и обновления. Дополнительный риск связан с использованием исторических управленческих решений как обучающей базы: в модель могут транслироваться и закрепляться прежние практики, не оптимальные в текущих условиях.

Необходимым условием внедрения является явное согласование системы *KPI*, ограничений и регламентов применения. Оптимизация по узкому критерию без формализации сервисных, штрафных и риск-чувствительных эффектов формирует вычислительный оптимум, который может ухудшать фактические результаты подразделений. Решающим фактором практической реализуемости выступает институциональный слой $\mathcal{H}(\cdot)$, задающий процедуры утверждения, эскалации, обработки исключений и распределения ответственности. При его отсутствии рекомендации сохраняют вычислительный статус, но не превращаются в устойчивый контур исполнения.

Заключение

В работе предложена формальная схема управленческого контура, объединяющая прогнозный, оптимизационный и институциональный блоки. Такая постановка показывает, что выбор воздействия U_t должен осуществляться одновременно в пространстве ограничений C_t и многокритериального вектора *K*, а допустимость решения к исполнению определяется не только вычислительной процедурой, но и институциональным слоем $\mathcal{H}(\cdot)$.

Показано, что вычислительная оптимальность не тождественна управленческой приемлемости. Эффект ИИ в управленческом контуре определяется согласованностью прогнозного блока, механизма выбора альтернатив, системы *KPI* и процедур валидации. При отсутствии институционального слоя и контроля устойчивости по мере $R(D_t)$ даже формально корректный оптимум может оказаться практически неприменимым.

Предложенный подход может использоваться как основа для прикладной валидации управленческих схем, сценарного анализа стресс-возмущений и дальнейшей эмпирической проверки устойчивости решений на данных логистики и цифровой торговли.

Литература

1. Аверкин, А.Н. Объяснимый искусственный интеллект XAI 2.0: манифест открытых задач и междисциплинарных направлений / А.Н. Аверкин // Речевые технологии (Speech Technologies), 2025.

2. Culot G., Orzes G., Sartor M., Nassimbeni G. Artificial intelligence in supply chain management: a systematic literature review of empirical studies and research directions // Computers in Industry. 2024.

3. Hao X., Demir E., Eyers D. Beyond human-in-the-loop: Sensemaking between artificial intelligence and human intelligence collaboration // Sustainable Futures. 2025. Vol. 10. Art. 101152.

4. Harder F.S., Schmidt M.M., Nielsen R.M. Combining machine learning and route optimization for a last-mile logistics network problem under uncertain demand: A case study from Copenhagen, Denmark // Computers & Industrial Engineering. 2023. Vol. 184. Art. 109604.

5. Hosseini Shekarabi S.A. et al. A novel robust optimization approach for supply chain resilience: the role of flexibility and collaboration // International Journal of Production Economics. 2025. Vol. 287. Art. 109686.

6. Kostopoulos G., Davrazos G., Kotsiantis S. Explainable Artificial Intelligence-Based Decision Support Systems: A Recent Review // Electronics. 2024. Vol. 13, № 14. Art. 2842.

7. Kuzgunkaya O., El Housni O., Masmoudi M. et al. A simulation-based optimization approach to dynamic inventory replenishment in a serial supply chain under uncertain demand and lead time // International Journal of Production Research. 2022. Vol. 60, № 13. С. 4117–4136.

8. Maragno P., Pakter R., den Hertog D., Ceballos A. Data-driven robust inventory management in the presence of censoring and substitutability // Decision Support Systems. 2020. Vol. 136. Art. 113340.

9. Olan F., Spanaki K., Ahmed W., Zhao G. Enabling explainable artificial intelligence capabilities in supply chain decision support making // Production Planning & Control. 2025. Vol. 36, № 6. С. 808–819.

10. Papastamoulou P., Antonopoulos N. Artificial Intelligence in E-Commerce: A Comparative Analysis of Best Practices Across Leading Platforms // Systems. 2025. Vol. 13, № 9. Art. 746.

11. Савин, С.В. Системы поддержки принятия решений на базе искусственного интеллекта: интеграция, адаптация и оценка эффективности / С.В. Савин, А.Д. Мурзин // Экономика и управление. – 2024. – Т. 30. – № 12. – С. 1521–1534.

12. Teixeira A. R. et al. A Systematic Literature Review on Artificial Intelligence in Supply Chain Management // Information. 2025. Vol. 16, № 5. Art. 399.

13. Чубырь, Н.О. Асимптотическое решение краевой задачи для стационарной расширенной системы уравнений Нернста – Планка и Пуассона / Н.О. Чубырь, А.В. Коваленко, М.Х. Уртенов, З.М. Лайпанова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 2(173). – С. 72–81.

References

1. Averkin, A.N. Obyasnimij iskusstvennij intellekt XAI 2.0: manifest otkrytykh zadach i mezhdistsiplinarnykh napravlenij / A.N. Averkin // Rechevye tekhnologii (Speech Technologies), 2025.

11. Savin, S.V. Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij na baze iskusstvennogo intellekta: integratsiya, adaptatsiya i otsenka effektivnosti / S.V. Savin, A.D. Murzin // Ekonomika i upravlenie. – 2024. – T. 30. – № 12. – S. 1521–1534.

13. CHubyr, N.O. Asimptoticheskoe reshenie kraevoj zadachi dlya statsionarnoj rasshirennoj sistemy uravnenij Nernsta – Planka i Puassona / N.O. CHubyr, A.V. Kovalenko, M.KH. Urtenov, Z.M. Lajpanova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 2(173). – S. 72–81.

© Т.М. Панеш, А.В. Коваленко, М.В. Шарпан, 2026

УДК 004.056

МОДЕЛЬ ДВУХЭШЕЛОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ПРИ ПУАССОНОВСКОМ СПРОСЕ И УПУЩЕННЫХ ПРОДАЖАХ

СИ ТУ ТАНТ СИН, Е.М. ПОРТНОВ, АУНГ ЧЖО МЬО

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

Ключевые слова и фразы: двухэшелонная система; управление запасами; упущенные продажи; невыполненные заказы; цепь Маркова; поток заказов; распределение Пуассона.

Аннотация: Для высокотехнологичных отраслей, таких как информационные технологии и автоматизированное производство, обеспечение доступности запасных частей критически важно, а простой оборудования недопустим. Управление такими запасами в двухэшелонных системах, сочетающих локальные и центральный склады, представляет собой сложную задачу из-за необходимости балансировать между временем доставки и затратами на хранение. Целью данной работы является разработка точного аналитического метода для оценки эффективности двухэшелонной системы управления запасами с пуассоновским спросом, упущенными продажами и учетом товаров в транспортном конвейере. Основная задача исследования заключается в определении ключевых показателей эффективности: доли спроса, удовлетворяемого по обычному каналу, и среднего времени ожидания для локальных складов. Гипотеза исследования состоит в том, что предложенная аппроксимация, основанная на анализе цепи Маркова для центрального склада и многомерном распределении невыполненных заказов, позволит получить высокую точность расчетов без использования итеративных процедур. Экспериментальные результаты, полученные на 86 тестовых примерах, демонстрируют, что разработанный метод обеспечивает высокую точность: максимальная относительная погрешность для доли удовлетворенного спроса составляет не более 0,2 %, а время вычислений в среднем не превышает 11 миллисекунд, что подтверждает его эффективность и практическую применимость для анализа надежности систем ресурсного обеспечения.

Для высокотехнологичных товаров, таких как информационные технологии или автоматизированное производство, простой может иметь серьезные последствия с точки зрения производственных потерь и безопасности. Для поддержания таких систем в рабочем состоянии на протяжении всего срока службы критически важна доступность запасных частей для замены вышедших из строя компонентов. Затраты на хранение соответствующих запасов могут быть огромными, поэтому важно иметь возможность размещать запасные части в разных точках цепочки поставок. Локальные складские точки, расположенные рядом с производственной базой, гарантируют быструю доставку, в то время как централизованное хранение позволяет поддерживать низкий уровень страховых запасов за счет эффекта объединения рисков. В связи с этим возникает необходимость проанализировать эффективность двухэшелонной модели управления запасами, состоящей из различных локальных складов, которые пополняются с центрального склада.

В этой статье проводится точный анализ частоты поступления заказов и их обработки на центральном складе. Модель позволяет работать с неидентичными локальными складами и учитывать любое количество невыполненных заказов. Как уже упоминалось во введении, наше определение упущенных продаж отлича-

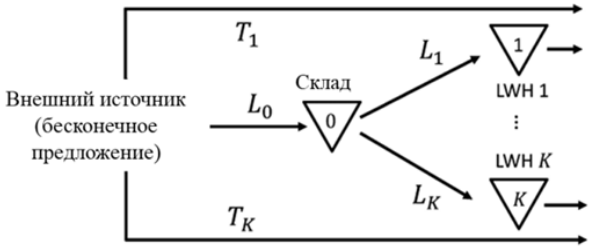


Рис. 1. Графическое изображение системы электроснабжения

ется от общепринятого, поскольку предлагается удовлетворять спрос с помощью двухэшелонной сети, если товар есть на локальном складе, на центральном складе или в пути.

Рис. 1 иллюстрирует нашу двухэшелонную модель, используется индекс $k = 0$ для склада-распределителя и индексы $k = 1, \ldots, K$ для местных складов. Спрос, поступающий на склад k, удовлетворяется через двухэшелонную сеть (обычный канал), если товар есть на складе, на складе-распределителе или в транспортном конвейере между ними. Обратите внимание, что товар в транспортном конвейере может быть доступен только в том случае, если он еще не назначен для выполнения отложенного спроса на складе. Если такого товара нет в наличии, используется внешний аварийный канал с неограниченной пропускной способностью за дополнительную плату, и спрос остается неудовлетворенным. В статье используются следующие обозначения и допущения.

- Запасы на складе в точке $k = 0, \ldots, K$ контролируются с помощью политики управления запасами $(S_k - 1, S_k)$.
- Спрос на местном складе k подчиняется закону Пуассона со скоростью m_k.
- Время пополнения запасов на складе имеет экспоненциальное распределение со средним значением L_0. Это предположение упрощает анализ с использованием цепей Маркова. Кроме того, эффективность таких моделей с учетом упущенных продаж не сильно зависит от распределения времени выполнения заказа.
- Время транспортировки со склада на склад k является детерминированным и равно L_k.
- Время срочной доставки на местный склад k имеет произвольную функцию распределения вероятностей со средним значением T_k.

Наши показатели эффективности: (*i*) доля спроса на складе k, удовлетворяемого через обычный канал α_k, и (*ii*) среднее время ожидания удовлетворения спроса через обычный канал $E[W_k]$ ($k = 1, \ldots, K$). Эти показатели эффективности позволяют оценить среднее время простоя в ожидании замены детали $DTWP_k$ на местном складе k как $\alpha_k E[W_k] + (1 - \alpha_k)T_k$.

Находим $E[W_k]$ по закону Литтла, то есть $E[W_k] = E[BO_k]/\alpha_k m_k$, где BO_k обозначает количество отложенных заказов на складе k. В свою очередь, находим $E[BO_k]$ и α_k по распределению количества отложенных заказов на складе, предназначенных для местного склада k.

Распределение позволяет установить рассредоточение количества невыполненных заказов (т.е. «трубопровода») на складе k, что, в свою очередь, дает возможность определить рассортирование BO_k по складам.

Кроме того, напрямую получаем α_k: после того, как на складе заканчиваются запасы, по регулярному каналу можно удовлетворить не более S_k дополнительных запросов (либо напрямую из складских запасов, либо из товаров, находящихся в транспортном конвейере). Таким образом, если на складе S_k невыполненных заказов, дальнейший спрос на этом складе будет потерян. Таким образом, α_k определяется следующим способом:

$$p(y = 1 \mid x) = \sigma(w^T \cdot T_0(x) + b). \qquad (1)$$

Для того, чтобы найти ${BO_0}^k$, необходимо PI_k – количество невыполненных заказов в каждом регионе ($k = 0, \ldots, K$).

Далее учитываем количество невыполненных заказов на складе PI_0. При полном предварительном заказе можно легко распределить невыполненные заказы по складам: при $y_0 > S_0$ невыполненных заказах условная вероятность $\Pr\left\{BO_0^k = x_k \mid PI_0 = y_0\right\}$. Вероятность наличия x_k невыполненных заказов на складе k подчиняется биномиальному распределению с

$y_0 - S_0$ испытаниями и «вероятностью успеха» $q_k = m_k / \sum_{h=1}^{k} m_h$. Однако это не относится к нашей модели. Кроме того, частота поступления заказов на пополнение запасов на складе зависит от состояния системы: условная вероятность того, что на складе k не будет товара при $PI_0 = y_0$, увеличивается с ростом y_0, поэтому частота поступления заказов на пополнение запасов на складе уменьшается с ростом y_0.

Покажем, как производить вычисления $\Pr\left\{BO_0^k = x_k \mid PI_0 = y_0\right\}$ точно. Используя эти условные вероятности, вычисляем зависящие от состояния показатели частоты прибытия на склад и находим распределение PI_0. В качестве приближения на втором этапе предполагаем, что эти показатели частоты прибытия распределены по закону Пуассона независимо от значения PI_0. Наконец, находим распределение $BO_0{}^k$ следующим образом:

$$\Pr\left\{BO_0^k = x_k\right\} = \\ = \sum_{y_0=0}^{S^{tot}} \Pr\left\{BO_0^k = x_k \mid PI_0 = y_0\right\} \Pr\left\{PI_0 = y_0\right\}, \quad (2)$$

В (2) S^{tot} – это сокращенное обозначение для $\sum_{k=0}^{k} S_k$. PI_0 не может превышать это значение: на центральном складе может быть не более S_0 невыполненных заказов на пополнение запасов. После того, как на складе закончатся запасы, дальнейшие невыполненные заказы могут быть выполнены только в том случае, если на складе еще есть товар, что приводит к возникновению отложенных заказов на складе. Поскольку количество отложенных заказов на складе k не может превышать Sk, получаем верхнюю границу PI_0 $S_0 + \sum_{k=1}^{k} S_k$ единицы измерения.

Шаг 1: вычисление $\Pr\left\{BO_0^k = x_k \mid PI_0 = y_0\right\}$. Обратите внимание, что $\Pr\left\{BO_0^k = x_k \mid PI_0 = y_0\right\}$ равно 1, когда $y_0 \le S_0$, поскольку эти заказы предназначены только для пополнения складских запасов. При $y_0 > S_0$ на складе в общей сложности имеется $y_0 - S_0$ невыполненных заказов, которые необходимо распределить по складам. Поскольку на каждом складе k может быть не более S_k невыполненных заказов, возможности для распределения ограничены, и биномиальное распределение здесь неприменимо. Например, если $y_0 - S_0 = 5$ невыполненных заказов на складе нужно распределить между тремя складами, при этом $S_k = 2$ для каждого склада, то возможны только следующие варианты: BO_0^1, BO_0^2, BO_0^3 – это $\{(1, 2, 2), (2, 1, 2), (2, 2, 1)\}$.

Если $Sk \to \infty \ \forall\ k$, то совместное распределение $BO_0^k\,(k = 1, ..., K)$, когда $PI_0 = y_0$ – многомерное распределение с K категориями, включающее $y_0 - S_0$ испытаний и вероятностей успеха $q_k = m_k / \sum_{h=1}^{k} m_h$. Обозначим это распределение вероятностей через

$$p\left(x_1, ..., x_K \mid PI_0 = y_0\right) = \\ = \Pr\left\{BO_0^1 \le x_1, ..., BO_0^k = x_K \mid PI_0 = y_0\right\}. \quad (3)$$

Очевидно, что совместное распределение вероятностей для конечных значений S_k имеет усеченное многочленное распределение, поскольку в статье обусловливаем это верхними границами S_k для задержек поставок на складе k:

$$P_{S_1,...,S_K}\left(x_1, ..., x_K \mid PI_0 = y_0\right) = \\ = \frac{\Pr\left\{BO_0^1 \le x_1, ..., BO_0^k \le x_K \mid PI_0 = y_0\right\}}{\Pr\left\{BO_0^1 \le S_1, ..., BO_0^k \le S_K \mid PI_0 = y_0\right\}} = \\ = \frac{p\left(x_1, ..., x_K \mid PI_0 = y_0\right)}{p\left(S_1, ..., S_K \mid PI_0 = y_0\right)}. \quad (4)$$

Функцией предельной плотности вероятности $\Pr\{BO_0^k = x_K \mid PI_0 = y_0$, где $x_k \le S_k \forall k \ge 1$, является:

$$\Pr\left\{BO_0^k = x_K \mid PI_0 = y_0\right\} = \\ = p_{S_1,...,S_K}(S_1, ..., x_k, ..., S_K \mid PI_0 = y_0) - \\ - p_{S_1,...,S_K}(S_1, ..., x_k - 1, ..., S_K \mid PI_0 = y_0). \quad (5)$$

Для быстрого вычисления $p(x_1, \ldots, x_K|PI_0 = = y_0)$ используем метод Левина (1981). Пусть $n = y_0 - S_0$ обозначает общее количество невыполненных заказов на складе.

$$p\left(x_1, ..., x_K \mid PI_0 = y_0\right) = \\ = \frac{n!}{v^n e^{-v}} \left\{\prod_{k=1}^{K} \Pr\left\{X_k \le x_k\right\}\right\} \Pr\left\{W = n\right\}. \quad (6)$$

В (6) v может быть любым действительным числом, X_k – независимые случайные ве-

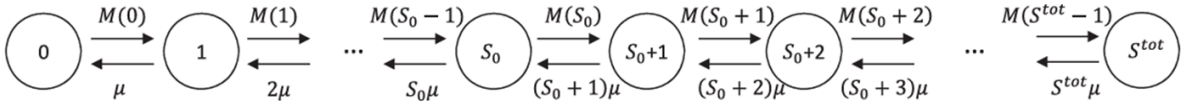


Рис. 2. Цепь Маркова, характеризующая количество единиц, находящихся на центральном складе

личины, распределенные по закону Пуассона, со средними значениями $v \cdot q_k$, а W – сумма независимых усеченных случайных величин, распределенных по закону Пуассона. То есть $W = \sum_{k=1}^{K} Z_k$, где Z_k – усеченное распределение Пуассона со средним значением $v \cdot q_k$ и верхней границей x_k. Как утверждает Левин, рассмотрим параметр настройки, который может быть выбран для удобства и численной стабильности. Он предлагает установить $v = n$, потому что тогда приближение Стирлинга можно использовать для вычисления первого члена в (6): $\frac{n!}{v^n e^{-v}} \approx \sqrt{2\pi n}$. Наконец, $\Pr\{W = n\}$ можно вычислить либо с помощью явных сверток, либо с помощью нормального приближения.

Шаг 2. Вычисление $\Pr\{PI_0 = y_0\}$.

Учитывая y_0 невыполненных заказов на складе, определяем интенсивность поступления новых заказов на склад $M(y_0)$ следующим образом: с вероятностью $1 - \Pr\left\{BO_0^k = S_k \mid PI_0 = y_0\right\}$ новый спрос на складе k может быть удовлетворен через обычный канал (либо за счет запасов на складе k или на складе-базе, либо за счет товара, находящегося в пути со склада-базы на склад k). Тогда склад-база получает запросы со склада k со скоростью m_k. В противном случае склад-база не получает никаких поступлений с этого склада. Таким образом, получаем:

$$M\left(y_0\right) = \sum_{k=1}^{K} m_k \left(1 - \Pr\left\{BO_0^k = S_k \mid PI_0 = y_0\right\}\right). \quad (7)$$

$M\left(y_0\right) = \sum_{k=1}^{K} m_k$ когда $y_0 < S_0$, поскольку на складе еще есть товар. Приближая процесс поступления к процессу Пуассона, можем представить PI_0 в виде цепи Маркова с непрерывным временем (рис. 2). На рисунке μ обозначает регулярную скорость пополнения (т.е. $\mu = 1/L_0$).

Определяем $E[BO_k]$ по распределению количества невыполненных заказов PI_k на складе k. PI_k состоит из (*i*) товаров, заказанных в депо для склада k (т.е. ${BO_0}^k$), и (*ii*) товары, находящиеся в пути со склада на склад k, которые обозначим как Q_k.

При полном обратном заказе эти два элемента независимы Грейвс, и PI_k можно вычислить как свертку ${BO_0}^k$ и Q_k. В нашей модели ${BO_0}^k$ и Q_k зависят друг от друга: однажды $BO_0^k = s_k$. Транспортный конвейер, ведущий к складу k, не может расширяться до тех пор, пока не будет выполнен один из отложенных заказов на складе S_k. После этого новые запросы на складе k будут потеряны для системы. Тем не менее можно достаточно точно аппроксимировать PI_k, предположив, что (*i*) Q_k имеет распределение Пуассона со средним значением $m_k L_k$, как в модели отложенных заказов, и что (*ii*) ${BO_0}^k$ и Q_k взаимно независимы, когда $BO_0^k < S_k$. В результате, когда $BO_0^k < S_k$, находим PI_k как свертку ${BO_0}^k$ и Q_k, когда склад k не получит новых заказов и Q_k будет равно 0. Таким образом, получаем для $\Pr\{PI_k = y_k\}$ и, следовательно, $E[BO_k]$:

$$\Pr\left\{PI_k = y_k\right\} =$$

$$= \begin{cases} \sum_{x_k=0}^{\min\{S_k-1, y_k\}} \Pr\left\{BO_0^k = x_k\right\} \Pr\left\{Q_k = y_k - x_k\right\}, \\ y_k \neq S_k; \\ \sum_{x_k=0}^{S_k-1} \Pr\left\{BO_0^k = x_k\right\} \Pr\left\{Q_k = y_k - x_k\right\} + \\ + \Pr\left\{BO_0^k = S_k\right\}, \quad y_k = S_k. \end{cases} \quad (8)$$

$$E\left[BO_k\right] = \sum_{y_k = S_k + 1}^{\infty} \left(y_k + S_k\right) \Pr\left\{PI_k = y_k\right\}. \quad (9)$$

Чтобы сократить сумму в (9), устанавливаем верхнюю границу PI_k, равной $S_k + {g_k}^{UB}$, где S_k – граница ${BO_0}^k$ и ${g_k}^{UB}$ является точной верхней границей Q_k, находим ${g_k}^{UB}$, когда $1 - \Pr\left\{Q_k \le g_k^{UB}\right\} < \varepsilon$.

Для моделирования используем подход с репликацией и удалением данных. Период прогрева составляет не менее 50 000 поступлений на склад, а интервал сбора данных состоит из нескольких прогонов, в каждом из которых по-

Таблица 1. Проверенные настройки для проблемных экземпляров с $K = 5$ складами

Уровень	$[m_1, m_2, m_3, m_4, m_5]$ (в день)	S_0	S_k ($k \geq 1$)
Низкий	[0,005, 0,005, 0,005, 0,005, 0,005]; [0,001, 0,002, 0,004, 0,008, 0,01]	0; 1	1
Средний	[0,05, 0,05, 0,05, 0,05, 0,05]; [0,01, 0,02, 0,04, 0,08, 0,1]	1; 2	1; 2
Высокий	[0,5, 0,5, 0,5, 0,5, 0,5]; [0,1, 0,2, 0,4, 0,8, 1]	5; 10; 20	1; 2; 3; 4

Таблица 2. Протестированные настройки для проблемных экземпляров с $K = 20$ складами

Уровень	$[m_1–m_4, m_5–m_8, m_9–m_{12}, m_{13}–m_{16}, m_{17}–m_{20}]$ (в день)	S_0	S_k ($k \geq 1$)
Низкий	[0,005, 0,005, 0,005, 0,005, 0,005]; [0,001, 0,002, 0,004, 0,008, 0,01]	0; 1; 2	1
Средний	[0,05, 0,05, 0,05, 0,05, 0,05]; [0,01, 0,02, 0,04, 0,08, 0,1]	4; 6; 8	1; 2
Высокий	[0,5, 0,5, 0,5, 0,5, 0,5]; [0,1, 0,2, 0,4, 0,8, 1]	20; 40; 60; 80	1; 2; 3; 4

Таблица 3. Точность и время вычислений нашего метода (ОМ) и метода Андерссона и Мельхиорса, $L_k = 0$

Группа интенсивности спроса	Доля сошедшихся *AM model* (%)	Средняя относительная ошибка α_k (%)		Максимальная относительная ошибка α_k (%)		Среднее время вычисления (миллисекунды)		Максимальное время вычисления (миллисекунды)	
		OM	*AM*	*OM*	*AM*	*OM*	*AM*	*OM*	*AM*
Низкий	100	0,00	0,01	0,02	0,09	3	<1	15	<1
Средний	100	0,01	0,52	0,06	3,31	6	<1	16	<1
Высокий	70	0,02	0,55	0,20	5,85	14	9	47	141
	80	0,02	0,47	0,20	5,85	11	5	47	141

ступает не менее 0,25 миллиона товаров на склад. Моделирование завершается, когда полуширина 95-процентного доверительного интервала составляет не более 0,5 % от точечной оценки для каждого показателя эффективности. По замыслу моделирование состоит как минимум из 5 прогонов, при этом среднее количество прогонов равно 10.

Было протестировано 86 инстансов с $L_k = 0$ (36 с 5 складами и 50 с 20 складами), где L_0 равно 10 дням, а T_k – 2 дням. Табл. 1 и 2 содержат данные о спросе и уровне запасов. Показатели спроса в табл. 2 указаны для групп складов: для складов с 1-го по 4-й показатели спроса такие же, как для складов с 5-го по 8-й и т.д.

В табл. 3 показана точность α_k и время вычислений для нашего метода (*OM*) и модели *AM*, при этом α_k полностью определяет среднее время простоя в ожидании замены детали, *DTWPk*, поскольку время ожидания при использовании обычного канала равно нулю. Предложенный метод очень точен: относительная погрешность составляет не более 0,2 %.

В статье была разработана простая и точная аппроксимация для двухэшелонной модели управления запасами с пуассоновским спросом и упущенными продажами. В отличие от существующих методов, не делаются строгие допущения и не используется итеративная процедура, которая обычно применяется в соответствующей литературе.

Литература

1. Маликова, А.А. Имитационное моделирование и оптимизация стратегии управления двухэшелонной складской системой / А.А. Маликова // Молодежный научно-технический вестник. – 2012. – № 9. – С. 10.

2. Тюрин, А.Ю. Особенности решения задач многоуровневой системы доставки товаров / А.Ю. Тюрин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 1(107). – С. 130–135.

3. Юськов, А.Д. Метод декомпозиции для управления запасами в двухэшелонной системе складов / А.Д. Юськов, И.Н. Кулаченко, А.А. Мельников, Ю.А. Кочетов // Дискретный анализ и исследование операций. – 2024. – Т. 31. – № 4(162). – С. 186–212.

4. Si Thu Thant Sin. Development of a Model and Algorithms for Trigger Control of Technological Processes of Resource Provision / Si Thu Thant Sin // Advances in Automation VI. RusAutoCon 2024. Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2025. – Vol 1324. – P. 132–141.

5. Си Ту Тант Син. Разработка структур модифицированных рабочих циклов в автоматизированной системе управления энергопотреблением / Си Ту Тант Син, Е.М. Портнов, Аунг Чжо Мьо // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 6(189). – С. 53–57.

6. Си Ту Тант Син. Методика защиты информации от несанкционированного доступа для системы обработки больших данных / Си Ту Тант Син, Е.М. Портнов, Аунг Чжо Мьо // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 5(188). – С. 66–69.

References

1. Malikova, A.A. Imitatsionnoe modelirovanie i optimizatsiya strategii upravleniya dvukheshelonnoj skladskoj sistemoj / A.A. Malikova // Molodezhnij nauchno-tekhnicheskij vestnik. – 2012. – № 9. – S. 10.

2. Tyurin, A.YU. Osobennosti resheniya zadach mnogourovnevoj sistemy dostavki tovarov / A.YU. Tyurin // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2015. – № 1(107). – S. 130–135.

3. YUskov, A.D. Metod dekompozitsii dlya upravleniya zapasami v dvukheshelonnoj sisteme skladov / A.D. YUskov, I.N. Kulachenko, A.A. Melnikov, YU.A. Kochetov // Diskretnij analiz i issledovanie operatsij. – 2024. – T. 31. – № 4(162). – S. 186–212.

5. Si Tu Tant Sin. Razrabotka struktur modifitsirovannykh rabochikh tsiklov v avtomatizirovannoj sisteme upravleniya energopotrebleniem / Si Tu Tant Sin, E.M. Portnov, Aung CHzho Mo // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 6(189). – S. 53–57.

6. Si Tu Tant Sin. Metodika zashchity informatsii ot nesanktsionirovannogo dostupa dlya sistemy obrabotki bolshikh dannykh / Si Tu Tant Sin, E.M. Portnov, Aung CHzho Mo // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 5(188). – S. 66–69.

© Си Ту Тант Син, Е.М. Портнов, Аунг Чжо Мьо, 2026

УДК 621.316:004.4

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ И МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

М.В. СЛЮСАРЬ, Е.М. ПОРТНОВ

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

Ключевые слова и фразы: автоматизированные системы энергетического тестирования; экономическая эффективность; математическая модель; отказоустойчивость; спорадическая передача данных; диагностика отказов; теория массового обслуживания; оптимизация структуры.

Аннотация: В работе рассматривается задача создания формализованных методов проектирования автоматизированных систем энергетического тестирования. Задачи включают создание многоуровневой модели системы, разработку математических моделей для оценки информационных потоков, требований к памяти и производительности, снижение объема данных и повышение точности оценки отказов, а также разработку формализованной модели; метода спорадической передачи данных, снижающего трафик в каналах связи в 5–10 раз; методики оценки ожидаемого количества отказов на основе модели утончающегося потока; алгоритма оптимальной диагностики единичных отказов, минимизирующего средние затраты на тестирование. Гипотеза исследования: применение подобных моделей и методов позволит повысить эффективность систем тестирования без потери отказоустойчивости. Методы исследования базируются на теории массового обслуживания, теории процессов утончения, регрессионном анализе и вероятностном моделировании. В результате сформирована модель, объединяющая параметры потоков, ресурсов и топологии системы, а также создан метод спорадической передачи данных, позволяющий снизить трафик в каналах связи в 5–10 раз. Разработаны методика оценки числа отказов, алгоритм диагностики, снижающий затраты на тестирование, и предложена структура устройств обработки данных. Эффективность метода подтверждена на примере системы с 32 датчиками, рассчитан резерв запасных частей (семь типов), а также разработан алгоритм диагностики для восьми модулей системы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании автоматизированных систем управления техническим процессом энергетических объектов и модернизации существующих систем мониторинга.

Введение

Проектирование автоматизированных систем энергетического тестирования (**АСТИ**) требует выбора оптимальных аппаратных и программных платформ из множества альтернатив. Ключевым критерием для сложных систем часто выступает экономическая эффективность, обеспечивающая баланс между стоимостью и эксплуатационной устойчивостью [1; 2]. Вопросы обеспечения отказоустойчивости и надежности таких систем являются критически важными для бесперебойного управления энергетическими объектами [3; 4].

В работах Б.Н. Петрова и др. [5] заложены основы построения самонастраивающихся систем, однако вопросы синтеза структуры АСТИ с учетом экономического критерия не рассматривались. Современные исследования [6; 7] фокусируются на отдельных аспектах: оценке производительности вычислительных систем [8; 9], методах диагностики [10; 11], моделях надежности [12; 13].

В работах [14; 15] предложены подходы к

снижению трафика в промышленных сетях, но без формализации оптимальной группировки датчиков. Методы прогнозирования отказов на основе теории массового обслуживания [16; 17] не учитывают динамику «утончения» потока отказов в процессе испытаний. Таким образом, существующие исследования не предлагают комплексной формализованной основы, объединяющей оценку информационных потоков, вычислительных ресурсов, топологии и отказоустойчивости в единую процедуру синтеза АСТИ.

Цель работы – разработка формализованной математической основы и методов повышения отказоустойчивости АСТИ, позволяющих на этапе проектирования синтезировать структуру аппаратных платформ по критерию минимизации приведенных затрат при обеспечении требуемого уровня надежности и своевременности выполнения функциональных задач.

Формализация архитектуры системы

Разработана многоуровневая архитектура АСТИ, включающая уровни функциональных задач (**ФЗ**), подсистем, общих системных функций (**СФ**) и функций устройств [18; 19].

Взаимосвязи между функциональными задачами i и объектами y описываются двоичной матрицей связей M_{ij}. Для количественной оценки объемов входных $V_{iy_вх}$ и выходных $V_{iy_вых}$ данных используются параметры: средняя длина сообщений (δ_i, q_i), периодичность выполнения (T_i), количество источников (N_{iy}) и среднее количество сообщений от одного источника (x_i):

$$V_{iy_вх} = f(\delta_i, T_i, x_i, N_{iy}), \quad (1)$$

$$V_{iy_вых} = f(q_i, T_i, x_i, N_{iy}). \quad (2)$$

Системные функции подразделяются на управляющие (инициализация, распределение задач, обмен данными, обработка прерываний и др.) и прикладные (сбор/ввод данных, вывод, обработка, хранение, поиск, коммуникация) [18; 20]. Каждая управляющая функция характеризуется средней интенсивностью выполнения λ_{j_0}, трудоемкостью реализации σ_{j_0}, сложностью внутренней структуры α_{j_0} и объемом используемой оперативной памяти V_{j_0}.

Моделирование устройств обработки данных

Структура обрабатывающего устройства (**ОУ**) включает подсистему обработки данных (**ПОД**) и подсистемы взаимодействия с объектами (**ПВО**). Для оценки требуемого объема оперативной памяти ОУ используется модель двухступенчатой системы массового обслуживания (**СМО**) [17; 21].

Подсистема S_1 (центральный процессор) моделируется как $M/M/1$ очередь, подсистема S_2 (устройства вывода) – как $M/M/c$ очередь. Итоговый объем требуемой памяти Υ_h рассчитывается по формуле:

$$\Upsilon_h = \Upsilon_{сообщ} + \Upsilon_{стеки} + \Upsilon_{загр}, \quad (3)$$

где $\Upsilon_{сообщ}$ – память для сообщений, $\Upsilon_{стеки}$ – память для стеков программ, $\Upsilon_{загр}$ – память для загружаемых модулей [21; 22].

Модель производительности центрального процессора

Время выполнения функциональной задачи раскладывается на время преобразования и ожидания для каждого типа устройства [23; 24]:

$$\tau_{if}^{ФЗ} = \tau_{ifm}^{ФЗ_пр} + \tau_{ifm}^{ФЗ_ож}, \quad (4)$$

Для устройств обработки данных среднее время преобразования сообщения:

$$\tau_{if_ОД}^{ФЗ_пр} = \frac{\delta_{if}\sigma_f}{\mu}, \quad (5)$$

где δ_{if} – средняя длина сообщения, σ_f – коэффициент сложности обработки одного бита, μ – быстродействие процессора [21].

Среднее время ожидания в очереди для $M/M/1$ системы:

$$\tau_{if_ОД}^{ФЗ_ож} = \frac{\rho_{hv}}{\lambda(1-\rho_{hv})}, \quad (6)$$

где ρ_{hv} – коэффициент загрузки системы при использовании v-го центрального процессора в h-м операционном усилителе, а λ – интенсивность входящих сообщений [23; 25].

Таблица 1. Сравнение методов передачи данных

Метод передачи	Длина сообщения, бит	Трафик	Коэффициент эффективности
Традиционный	384	Высокий	1
Спорадический	54	Низкий	7,1

Метод спорадической передачи данных

Для снижения нагрузки на каналы связи предложен метод, при котором передача данных инициируется только при возникновении значимых событий [26; 27]. Датчики группируются в k подгрупп. Сообщение включает управляющие индикаторы и данные только от тех подгрупп, где зафиксированы изменения. Оптимальное количество групп $k_{\text{опт}}$ для минимизации длины сообщения L_u определяется из условия:

$$k_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{mq}{2c}}, \tag{7}$$

где m – число датчиков; q – разрядность данных датчика; c – константа, учитывающая служебные биты [27]. Эффективность метода характеризуется коэффициентом $K_{\text{эфф}} = L_{\text{трад}}/L_u$. Для $m = 32$ датчиков, $q = 12$ бит, $k_{\text{опт}} = 4$ получено $L_u = 54$ бита, $L_{\text{трад}} = 384$ бита, $K_{\text{эфф}} \approx 7{,}1$.

Методика оценки ожидаемого количества отказов

На основе теории процессов утончения [28] ожидаемое количество отказов m_{os} за период испытаний $[0, t_{ti}]$ при начальном числе внедренных аварийных состояний N_{os} и мгновенной частоте отказов b_{os} описывается выражением [29]:

$$m_{os}(t_{ti}) = N_{os}(1 - e^{-b_{os}\, t_{ti}}). \tag{8}$$

Методика апробирована на тестировании цифровых контроллеров питания (табл. 1).

Алгоритм диагностики единичных отказов

Система представлена набором из n элементов. Состояние j-го элемента: $x_j = 1$ (неисправен), $x_j = 0$ (исправен). Используется матрица тестов $A = [a_{ij}]$ размерности $m \times n$ [30]. Результат теста $s_i = 1$, если тест не пройден. Для гарантированного единичного отказа разработан алгоритм последовательного применения тестов, минимизирующий средние затраты на диагностику [31]. На каждом шаге выбирается тест h_k, для которого величина Z_k/P_kQ_k минимальна, где Z_k – затраты на тест, P_k – вероятность неуспеха, $Q_k = 1 - P_k$ [32; 33].

Синтез экономически эффективной структуры

На основе формализованных моделей поставлена задача синтеза структуры ОУ типа d. Целевая функция – минимизация годовых приведенных затрат [1; 2]:

$$C_\Sigma = C_{\text{ПОД}}(d) + \sum_{y,v} C_{\text{ПВО}}(y, v, d) \rightarrow min, \tag{9}$$

где C_Σ – суммарные годовые приведенные затраты, $C_{\text{ПОД}}(d)$ – затраты на подсистему обработки данных для устройства типа d, $C_{\text{ПВО}}(y, v, d)$ – затраты на подсистему взаимодействия с объектом y типа v для устройства d при ограничениях на выбор способа сбора данных для каждого объекта и на время решения функциональных задач [16].

Результаты применения метода спорадической передачи

Для системы с $m = 32$ датчиками, $q = 12$ бит и $k_{\text{опт}} = 4$ длина информационного сообщения L_u составила 54 бита. При традиционном подходе (передача данных всех датчиков) $L_{\text{трад}} = 384$ бита. Коэффициент эффективности $K_{\text{эфф}} \approx 7{,}1$ (табл. 1). В отличие от циклического опроса, предложенный метод передает только значимую информацию, снижая нагрузку на каналы связи в среднем в 5–10 раз [26; 27].

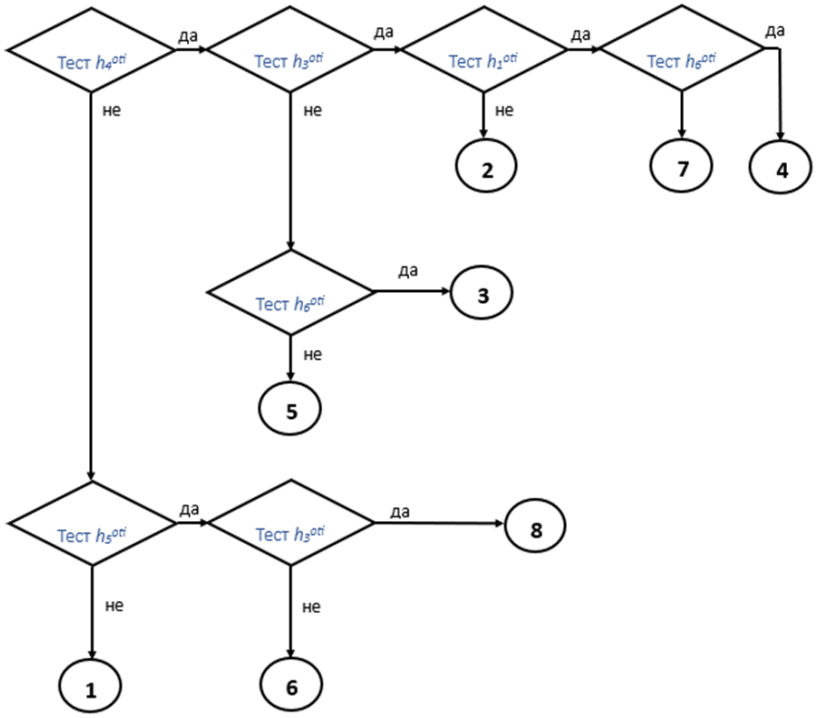


Рис. 1. Схема алгоритма полного тестирования АИС

Таблица 2. Матрица тестов (фрагмент)

Тест	Эл. 1	Эл. 2	Эл. 3	Эл. 4	Эл. 5	Эл. 6	Эл. 7	Эл. 8
1	1	1	0	0	1	1	0	0
2	0	1	0	1	0	0	1	0
3	0	0	1	0	1	1	0	0
4	1	0	0	0	0	1	0	1
5	1	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	1	1

Пример диагностики компонентов АСТИ

Рассмотрена система из 8 модулей (ЦП, контроллер КВМ-12, источник питания МП 46.81, модуль ВТС-01М, контроллер ЛК-02М, АЦП-3, модуль КС 35.17, модуль МТИ-М). Используется матрица из 6 тестов (табл. 2). На основе априорных вероятностей отказов элементов построен алгоритм полного тестирования (рис. 1). Первым применяется тест h_4, имеющий минимальную ожидаемую стоимость. В отличие от последовательного или случайного выбора, предложенный алгоритм учитывает вероятности отказов элементов, что сокращает среднее число тестов на 25–30 % [30; 31].

Расчет потребности в запасных частях

Для подсистемы АСТИ, содержащей $N_{ТИ}$ = 64 типовых элемента замены (**ТЭЗ**) с интенсивностью отказов $\lambda = 5 \cdot 10^{-6}$ час$^{-1}$, периодом пополнения запаса $t_п$ = 7300 часов и допустимой вероятностью дефицита $P_{доп}$ = 0,01, проведен расчет. Суммарная интенсивность отказов $\Lambda = 64 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 3{,}2 \cdot 10^{-4}$ час$^{-1}$. Математическое ожидание числа отказов за период $\alpha = \Lambda \cdot t_п = 2{,}336$. По таблице распределения Пуассона [34; 35] для $\alpha = 2{,}336$ вероятность от-

сутствия дефицита при запасе 7 ТЭЗ составляет $P(n_f \leq 7) = 0{,}9906 > 0{,}99$ [28; 29]. Таким образом, необходим резерв из 7 запасных ТЭЗ.

Заключение

Разработана формализованная многоуровневая архитектура АСТИ, позволяющая проводить детальный анализ функциональных задач, потоков данных и требований к аппаратным ресурсам [18; 19]. Предложена математическая модель на основе теории СМО для оценки требований к оперативной памяти и производительности ЦП [17; 21], что является основой для синтеза оптимальной структуры обрабатывающих устройств по экономическому критерию [1; 2]. Внедрение метода спорадической передачи данных позволяет снизить нагрузку на каналы связи автоматизированных систем энергоменеджмента в 5–10 раз по сравнению с традиционным циклическим опросом, что подтверждено расчетами для системы с 32 датчиками [26; 27]. Разработанная методика оценки ожидаемого количества отказов на основе модели утончающегося потока [28; 29] и алгоритм последовательной диагностики единичных отказов [30; 31] обеспечивают эффективное планирование испытаний, технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Представленные в работе модели, методы и алгоритмы прошли апробацию на практических примерах (расчет ЗИП, диагностика модулей АСТИ), подтвердив свою адекватность и применимость для повышения экономической эффективности и отказоустойчивости автоматизированных систем энергетического тестирования. Разработанные методы могут быть успешно использованы при проектировании автоматизированных систем управления техническим процессом (**АСУ ТП**) энергетических объектов, а также при модернизации существующих систем мониторинга и тестирования.

Литература

1. Бочкарев, А.М. Математические модели для расчета и анализа показателей эффективности использования ресурсов автоматизированных систем управления / А.М. Бочкарев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 2. – DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.018.

2. Яшин, В.Н. Оценка эффективности автоматизированных информационных систем / В.Н. Яшин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2017. – № 3(55). – С. 43–49 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-avtomatizirovannyh-informatsionnyh-sistem.

3. Викторова, В.С. Анализ надежности и эффективности многоуровневых технических систем / В.С. Викторова, А.С. Степанянц. – М. : ЛЕНАНД, 2020. – 168 с.

4. Мартишин, С.А. Основы теории надежности информационных систем : учеб. пособие / С.А. Мартишин, В.Л. Симонов, М.В. Храпченко. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. – 255 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://znanium.com/catalog/product/1062374.

5. Петров, Б.Н. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем / Б.Н. Петров, В.Ю. Рутковский, И.Н. Крутова, С.Д. Земляков. – М. : Наука, 1972. – 433 с.

6. Мартин, В. Надежность и статистические методы / В. Мартин, Дж. Кларк ; пер. с англ. А. Петрова. – М. : Мир, 2010. – 320 с.

7. Труханов, В.М. Краткий курс теории и практики надежности сложных систем … Надежность в технике / В.М. Труханов. – М. : Машиностроение, 1999. – 598 с.

8. Орлов, С.А. Организация ЭВМ и систем : учебник для вузов; 2-е изд. / С.А. Орлов, Б.Я. Цилькер. – СПб. : Питер, 2011. – 688 с.

9. Сенкевич, А.В. Архитектура ЭВМ и вычислительные системы : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А.В. Сенкевич. – М. : Академия, 2014. – 240 с.

10. Глущенко, П.В. Техническая диагностика. Моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов / П.В. Глущенко. – М. : Вузовская книга, 2004. – 248 с.

11. Краковский, Ю.М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования / Ю.М. Краковский. – Новосибирск : Наука, 2006. – 228 с.

12. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.

13. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин : учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.

14. Митюшкин, К.Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах / К.Г. Митюшкин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

15. Дженингс, Ф. Практическая передача данных. Модемы, сети и протоколы / Ф. Дженингс. – М. : Мир, 1989. – 267 с.

16. Купер, Д.Дж. Вероятные методы анализа сигналов и систем / Д.Дж. Купер, К. Макгиллем. – М. : Мир, 1989. – 376 с.

17. Уолрэнд, Дж. Введение в теорию сетей массового обслуживания / Дж. Уолрэнд. – М. : Мир, 1993. – 335 с.

18. Басов, О.О. Синтез топологической структуры распределенной терминальной системы для аудиомониторинга пользователей локальных информационных пространств / О.О. Басов, И.А. Саитов, А.И. Мотиенко, С.С. Астапов // Труды СПИИРАН. – 2019. – Т. 18. – № 6. – С. 1357–1380.

19. Волкова, В.Н. Теория систем и системный анализ : учебник для вузов; 3-е изд. / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М. : Юрайт, 2025. – 562 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://urait.ru/bcode/559633.

20. Михеев, В.А. Методика выбора рационального комплекса программно-аппаратных средств защиты информации многофункциональной информационной системы / В.А. Михеев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 11. – С. 41–45 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vybora-ratsionalnogo-kompleksa-programmno-apparatnyh-sredstv-zaschity-informatsii-mnogofunktsionalnoy-informatsionnoy.

21. Плещинский, Н.Б. Многопроцессорные вычислительные комплексы. Технологии параллельного программирования : учеб. пособие / Н.Б. Плещинский, И.Н. Плещинский. – Казань : Казанский федеральный университет, 2018. – 80 с.

22. Огородников, И.Н. Микропроцессорная техника : учебник; 2-е изд., перераб. и доп. / И.Н. Огородников. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2007. – 380 с.

23. Смирнов, И.Н. Прикладные задачи теории массового обслуживания : учеб. пособие / И.Н. Смирнов. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2019. – 86 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.iprbookshop.ru/102664.html.

24. Рыжиков, Ю.И. Численные методы теории очередей : учеб. пособие / Ю.И. Рыжиков. – М. : Лань, 2019. – 218 с.

25. Крылов, В.И. Вычислительные методы / В.И. Крылов, В.В. Бобков, П.И. Монастырный. – М. : Наука, 1976. – Т. 1. – 303 с.

26. Лифшиц, М.А. Случайные процессы – от теории к практике : 4-е изд., стер. / М.А. Лифшиц. – СПб. : Лань, 2024. – 308 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа :https://e.lanbook.com/book/356168.

27. Никитин, Л.Н. Испытания, контроль и диагностика приборов и электронных средств : учеб. пособие [Электронный ресурс] / Л.Н. Никитин, А.Н. Лукин, В.Н. Семенов. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

28. Махитько, В.П. Методы оценки показателей надежности изделий по результатам испытаний и эксплуатации / В.П. Махитько, В.Г. Засканов, М.В. Савин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – № 6-1. – С. 293–299 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-pokazateley-nadezhnosti-izdeliy-po-rezultatam-ispytaniy-i-ekspluatatsii.

29. Фатеев, И.В. Оптимизация стратегии замен элементов по стоимостным критериям / И.В. Фатеев // Надежность и контроль качества. – 1980. – № 8. – С. 28–32.

30. Дианов, В.Н. Диагностика интегро-дифференциальных сбоев в активных элементах интегральной схемотехники / В.Н. Дианов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2014. – Т. 2. – С. 37–40.

31. Тарасов, И.Е. Методика проектирования специализированных вычислительных систем на основе совместной оптимизации аппаратного и программного обеспечения / И.Е. Тарасов, П.Н. Советов, Д.В. Люлява, Д.И. Мирзоян // Russian Technological Journal. – 2024. – Т. 12. – № 3. – С. 37–45. – DOI: 10.32362/2500-316X-2024-12-3-37-45.

32. Егоров, Г.А. СМ ЭВМ: Комплексирование и применение : 2-е изд., перераб. и доп. / Г.А. Егоров, В.Л. Кароль, Н.Л. Прохоров, К.В. Песелев, В.В. Родионов, М.С. Колосков ; под ред. Н.Л. Прохорова. – М. : Финансы и статистика, 1986. – 304 с.

33. Есиков, О.В. Математические модели распределения вычислительных ресурсов в бортовых информационных и управляющих системах по критерию равномерной загрузки / О.В. Есиков, Е.А. Старожук, К.А. Хомяков // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2015. – № 9. – С. 96–102 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-raspredeleniya-vychislitelnyh-resursov-v-bortovyh-informatsionnyh-i-upravlyayuschih-sistemah-po-kriteriyu.

34. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Макс, И. Такахара. – М. : Мир, 1975. – 344 с.

References

1. Bochkarev, A.M. Matematicheskie modeli dlya rascheta i analiza pokazatelej effektivnosti ispolzovaniya resursov avtomatizirovannykh sistem upravleniya / A.M. Bochkarev // Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. – 2023. – T. 11. – № 2. – DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.018.

2. YAshin, V.N. Otsenka effektivnosti avtomatizirovannykh informatsionnykh sistem / V.N. YAshin // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2017. – № 3(55). – S. 43–49 [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-avtomatizirovannyh-informatsionnyh-sistem.

3. Viktorova, V.S. Analiz nadezhnosti i effektivnosti mnogourovnevykh tekhnicheskikh sistem / V.S. Viktorova, A.S. Stepanyants. – M. : LENAND, 2020. – 168 s.

4. Martishin, S.A. Osnovy teorii nadezhnosti informatsionnykh sistem : ucheb. posobie / S.A. Martishin, V.L. Simonov, M.V. KHrapchenko. – M. : FORUM : INFRA-M, 2020. – 255 s. [Electronic resource]. – Access mode : https://znanium.com/catalog/product/1062374.

5. Petrov, B.N. Printsipy postroeniya i proektirovaniya samonastraivayushchikhsya sistem / B.N. Petrov, V.YU. Rutkovskij, I.N. Krutova, S.D. Zemlyakov. – M. : Nauka, 1972. – 433 s.

6. Martin, V. Nadezhnost i statisticheskie metody / V. Martin, Dzh. Klark ; per. s angl. A. Petrova. – M. : Mir, 2010. – 320 s.

7. Trukhanov, V.M. Kratkij kurs teorii i praktiki nadezhnosti slozhnykh sistem … Nadezhnost v tekhnike / V.M. Trukhanov. – M. : Mashinostroenie, 1999. – 598 s.

8. Orlov, S.A. Organizatsiya EVM i sistem : uchebnik dlya vuzov; 2-e izd. / S.A. Orlov, B.YA. TSilker. – SPb. : Piter, 2011. – 688 s.

9. Senkevich, A.V. Arkhitektura EVM i vychislitelnye sistemy : uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. obrazovaniya / A.V. Senkevich. – M. : Akademiya, 2014. – 240 s.

10. Glushchenko, P.V. Tekhnicheskaya diagnostika. Modelirovanie v diagnostirovanii i prognozirovanii sostoyaniya tekhnicheskikh obektov / P.V. Glushchenko. – M. : Vuzovskaya kniga, 2004. – 248 s.

11. Krakovskij, YU.M. Matematicheskie i programmnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya / YU.M. Krakovskij. – Novosibirsk : Nauka, 2006. – 228 s.

12. Gnedenko, B.V. Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti / B.V. Gnedenko, YU.K. Belyaev, A.D. Solovev. – M. : Nauka, 1965. – 524 s.

13. Kuznetsov, N.L. Nadezhnost elektricheskikh mashin : ucheb. posobie dlya vuzov / N.L. Kuznetsov. – M. : Izdatelskij dom MEI, 2006. – 432 s.

14. Mityushkin, K.G. Telekontrol i teleupravlenie v energosistemakh / K.G. Mityushkin. – M. : Energoatomizdat, 1990. – 288 s.

15. Dzhenings, F. Prakticheskaya peredacha dannykh. Modemy, seti i protokoly / F. Dzhenings. – M. : Mir, 1989. – 267 s.
16. Kuper, D.Dzh. Veroyatnye metody analiza signalov i sistem / D.Dzh. Kuper, K. Makgillem. – M. : Mir, 1989. – 376 s.
17. Uolrend, Dzh. Vvedenie v teoriyu setej massovogo obsluzhivaniya / Dzh. Uolrend. – M. : Mir, 1993. – 335 s.
18. Basov, O.O. Sintez topologicheskoj struktury raspredelennoj terminalnoj sistemy dlya audiomonitoringa polzovatelej lokalnykh informatsionnykh prostranstv / O.O. Basov, I.A. Saitov, A.I. Motienko, S.S. Astapov // Trudy SPIIRAN. – 2019. – T. 18. – № 6. – S. 1357–1380.
19. Volkova, V.N. Teoriya sistem i sistemnij analiz : uchebnik dlya vuzov; 3-e izd. / V.N. Volkova, A.A. Denisov. – M. : YUrajt, 2025. – 562 s. [Electronic resource]. – Access mode : https://urait.ru/bcode/559633.
20. Mikheev, V.A. Metodika vybora ratsionalnogo kompleksa programmno-apparatnykh sredstv zashchity informatsii mnogofunktsionalnoj informatsionnoj sistemy / V.A. Mikheev // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. – 2009. – № 11. – S. 41–45 [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vybora-ratsionalnogo-kompleksa-programmno-apparatnyh-sredstv-zaschity-informatsii-mnogofunktsionalnoy-informatsionnoy.
21. Pleshchinskij, N.B. Mnogoprotsessornye vychislitelnye kompleksy. Tekhnologii parallelnogo programmirovaniya : ucheb. posobie / N.B. Pleshchinskij, I.N. Pleshchinskij. – Kazan : Kazanskij federalnij universitet, 2018. – 80 s.
22. Ogorodnikov, I.N. Mikroprotsessornaya tekhnika : uchebnik; 2-e izd., pererab. i dop. / I.N. Ogorodnikov. – Ekaterinburg : UGTU-UPI, 2007. – 380 s.
23. Smirnov, I.N. Prikladnye zadachi teorii massovogo obsluzhivaniya : ucheb. posobie / I.N. Smirnov. – SPb. : Sankt-Peterburgskij gosudarstvennij universitet promyshlennykh tekhnologij i dizajna, 2019. – 86 s. [Electronic resource]. – Access mode : https://www.iprbookshop.ru/102664.html.
24. Ryzhikov, YU.I. CHislennye metody teorii ocheredej : ucheb. posobie / YU.I. Ryzhikov. – M. : Lan, 2019. – 218 s.
25. Krylov, V.I. Vychislitelnye metody / V.I. Krylov, V.V. Bobkov, P.I. Monastyrnij. – M. : Nauka, 1976. – T. 1. – 303 s.
26. Lifshits, M.A. Sluchajnye protsessy – ot teorii k praktike : 4-e izd., ster. / M.A. Lifshits. – SPb. : Lan, 2024. – 308 s. [Electronic resource]. – Access mode : https://e.lanbook.com/book/356168.
27. Nikitin, L.N. Ispytaniya, kontrol i diagnostika priborov i elektronnykh sredstv : ucheb. posobie [Electronic resource] / L.N. Nikitin, A.N. Lukin, V.N. Semenov. – Voronezh : Voronezhskij gosudarstvennij tekhnicheskij universitet, 2017. – 1 elektron. opt. disk (CD-ROM).
28. Makhitko, V.P. Metody otsenki pokazatelej nadezhnosti izdelij po rezultatam ispytanij i ekspluatatsii / V.P. Makhitko, V.G. Zaskanov, M.V. Savin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2011. – № 6-1. – S. 293–299 [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-pokazateley-nadezhnosti-izdeliy-po-rezultatam-ispytaniy-i-ekspluatatsii.
29. Fateev, I.V. Optimizatsiya strategii zamen elementov po stoimostnym kriteriyam / I.V. Fateev // Nadezhnost i kontrol kachestva. – 1980. – № 8. – S. 28–32.
30. Dianov, V.N. Diagnostika integro-differentsialnykh sboev v aktivnykh elementakh integralnoj skhemotekhniki / V.N. Dianov // Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost i kachestvo». – 2014. – T. 2. – S. 37–40.
31. Tarasov, I.E. Metodika proektirovaniya spetsializirovannykh vychislitelnykh sistem na osnove sovmestnoj optimizatsii apparatnogo i programmnogo obespecheniya / I.E. Tarasov, P.N. Sovetov, D.V. Lyulyava, D.I. Mirzoyan // Russian Technological Journal. – 2024. – T. 12. – № 3. – S. 37–45. – DOI: 10.32362/2500-316X-2024-12-3-37-45.
32. Egorov, G.A. SM EVM: Kompleksirovanie i primenenie : 2-e izd., pererab. i dop. / G.A. Egorov, V.L. Karol, N.L. Prokhorov, K.V. Peselev, V.V. Rodionov, M.S. Koloskov ; pod red. N.L. Prokhorova. – M. : Finansy i statistika, 1986. – 304 s.
33. Esikov, O.V. Matematicheskie modeli raspredeleniya vychislitelnykh resursov v bortovykh informatsionnykh i upravlyayushchikh sistemakh po kriteriyu ravnomernoj zagruzki / O.V. Esikov,

E.A. Starozhuk, K.A. KHomyakov // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. – 2015. – № 9. – S. 96–102 [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-raspredeleniya-vychislitelnyh-resursov-v-bortovyh-informatsionnyh-i-upravlyayuschih-sistemah-po-kriteriyu.

34. Mesarovich, M. Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevykh sistem / M. Mesarovich, D. Maks, I. Takakhara. – M. : Mir, 1975. – 344 s.

© М.В. Слюсарь, Е.М. Портнов, 2026

УДК 338.242.2

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

И.Л. ЧЕРЕДНИЧЕНКО, А.В. СУРИНА

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: итерационное управление; многокритериальная оценка; НИОКР-проект; портфель; управление составом портфеля.

Аннотация: Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования процессов управления портфелями НИОКР-проектов в условиях высокой неопределенности результатов, длительных сроков реализации и ресурсных ограничений. Гипотеза исследования состоит в том, что формализованная итерационная процедура, объединяющая прогнозирование, многокритериальную оценку и ресурсный отбор, позволяет повысить обоснованность и адаптивность решений при формировании портфеля. В связи с этим цель работы заключается в разработке концепции управления составом портфеля научно-исследовательских подразделений. Для достижения цели проведен анализ научных источников по методам портфельного выбора, идентифицированы и структурированы ключевые этапы управления портфелем НИОКР-проектов, формализованы параметры проектов и система критериев оценки, а также разработан итерационный алгоритм. В работе использованы методы обобщения научных источников, системного анализа (для построения целостной алгоритмической процедуры) и сравнительного анализа (при сопоставлении существующих подходов). В результате предложен итерационный алгоритм. Для каждого этапа определены содержание, формальное обозначение и ожидаемый результат, что позволяет формализовать переход от экспертных представлений к обоснованному управленческому решению о составе портфеля. Перспективы использования связаны с созданием прикладной модели поддержки принятия решений для научно-исследовательских организаций, а также с возможностью автоматизации процедур отбора и мониторинга портфеля.

Введение

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (**НИОКР**) являются ключевым драйвером инновационного развития и конкурентоспособности современных организаций. Реализация таких проектов сопряжена с высокой неопределенностью конечных результатов, длительными сроками, значительными интеллектуальными затратами и необходимостью постоянной балансировки между поисковыми и прикладными исследованиями. Для управления портфелями НИОКР-проектов традиционно используются вероятностные методы, методы имитационного моделирования, методы многокритериального принятия решений, методы оптимизации, модели, основанные на экспертных оценках. Однако они зачастую не учитывают итерационный характер управления, постоянное поступление новых данных, необходимость гибкого пересмотра состава портфеля в условиях ресурсных ограничений, а также комплексный учет неопределенности и взаимосвязи проектов в портфеле.

В этой связи сохраняется потребность в формализованной адаптивной процедуре, которая объединяла бы прогнозирование параметров проектов, оценку их неопределенности, многокритериальный отбор с обратными связями между этапами.

Обзор литературы

Управление портфелем проектов в науч-

ной литературе рассматривается как централизованный процесс отбора, приоритизации и мониторинга совокупности проектов, направленный на достижение стратегических целей организации в условиях ресурсных ограничений [1; 2; 4]. Специфика портфелей НИОКР-проектов обусловлена высокой неопределенностью результатов, длительными сроками реализации и зависимостью от интеллектуальных ресурсов, что требует применения адаптивных и итерационных методов управления [3].

Традиционно задачи портфельного выбора решаются с использованием методов многокритериального принятия решений. В обзоре *V. Mohagheghi* и соавторов (2019) систематизированы модели портфельной оптимизации, подходы к учету неопределенности и методы решения, подчеркивается необходимость интеграции экспертных оценок с формальными алгоритмами ранжирования [9]. Работа *H. Li* и соавторов (2022) демонстрирует применение стохастических моделей для балансировки *R&D*-портфелей по отраслевым направлениям с учетом вероятности неудачи проектов [8].

В последние годы акцент смещается в сторону адаптивных механизмов и цифровых инструментов поддержки принятия решений. А.А. Сидоров (2023) предлагает методы динамической балансировки инновационных портфелей, позволяющие перераспределять ресурсы на разных стадиях жизненного цикла проектов [5]. С.А. Титов и Д.В. Сухоруков (2024) интегрируют имитационное моделирование в процедуру многокритериального отбора НИОКР-проектов для количественной оценки влияния неопределенности исходных данных [6]. *J. Smith* и *A. Brown* (2025) в систематическом обзоре методов многокритериального принятия решений для НИОКР-портфелей подтверждают, что игнорирование ресурсных ограничений на этапе отбора является одним из основных источников неэффективности портфеля [7]. *S. Lee* и *H. Kim* (2024) актуализируют проблему баланса между поисковыми и прикладными проектами, предлагая метрики устойчивости портфеля к изменениям внешней среды [11]. *L. Martínez* и *J. García* (2023) разрабатывают гибридную модель многокритериального выбора, объединяющую нечеткие когнитивные карты и аналитические сетевые процессы, что позволяет учитывать взаимовлияние критериев в условиях неполноты информации [10].

Анализ литературы показывает, что в научной дискуссии сохраняется дефицит комплексных процедур, которые позволяли бы последовательно объединить этапы прогнозирования, оценки и ресурсного отбора в рамках единой концепции управления составом портфеля НИОКР-проектов. На восполнение этого пробела направлено настоящее исследование.

Концепция управления составом портфеля НИОКР-проектов

Для иллюстрации концепции управления составом портфеля НИОКР-проектов был разработан алгоритм, включающий ряд этапов, каждый из которых выполняет самостоятельную функцию в процессе формирования, оценки, отбора и включения проектов в состав портфеля (табл. 1).

В рамках этапа формирования множества проектов-кандидатов проводится сбор информации о потенциальных НИОКР-проектах, предлагаемых к реализации. Источниками информации могут выступать научные подразделения организации, результаты предыдущих исследований, стратегические программы развития, а также внешние источники, включая научные публикации и технологические тренды. На данном этапе формируется исходный перечень проектов, который в дальнейшем подлежит анализу и оценке.

На этапе идентификации и структурирования параметров проектов определяется перечень характеристик проектов, подлежащих анализу и прогнозированию: сроки реализации проектов, потребность в ресурсах, уровень научной новизны, технологическая реализуемость, потенциальный эффект и уровень риска.

Этап прогнозирования параметров проектов направлен на оценку диапазона возможных значений параметров проектов. Для прогнозирования могут использоваться экспертные методы, вероятностные модели, а также анализ аналогичных проектов. На данном этапе формируются прогнозные значения основных характеристик проектов, которые в дальнейшем используются при их сравнительной оценке.

На этапе оценки уровня неопределенности проектов оценивается степень риска проектов. Проекты с высоким уровнем неопределенности требуют более тщательного анализа и могут рассматриваться в контексте балансировки портфеля.

На этапе формирования системы критери-

Таблица 1. Результаты этапов алгоритма управления составом портфеля НИОКР-проектов

Этап алгоритма	Обозначение	Содержание этапа	Результат этапа
Формирование множества проектов-кандидатов	$X = \{x_1, x_2, \ldots x_n\}$	Определяется совокупность проектов, потенциально допустимых ко включению в портфель НИОКР	Сформировано множество проектов-кандидатов
Выделение параметров проектов	$P_i = \{t_i, b_i, r_i, q_i, v_i, u_i\}$	Для каждого проекта задаются параметры: срок, ресурсы, риск, научно-техническая значимость, эффект, неопределенность	Сформирована система параметров проектов
Прогнозирование параметров проектов	$\hat{P}_i = \{\hat{t}_i, \hat{b}_i, \hat{r}_i, \hat{q}_i, \hat{v}_i, \hat{u}_i\}$	Прогнозирование будущих значений параметров проектов на основе экспертных, вероятностных и аналитических методов	Получены прогнозные параметры проектов
Оценка неопределенности проектов	$U = \{u_1, u_2, \ldots, u_n\}$	Для каждого проекта определяется уровень неопределенности	Сформирован вектор неопределенности
Формирование системы критериев оценки	$K = \{k_1, k_2, \ldots, k_m\}$	Определяется перечень критериев, по которым будут оцениваться проекты	Сформирована система критериев
Определение весов критериев	$W = \{w_1, w_2, \ldots, w_m\}$	Каждому критерию присваивается вес в зависимости от его значимости	Сформирован вектор весов критериев
Построение матрицы оценок проектов	$A = \{a_{ij}\}$	Выполняется оценка каждого проекта по каждому критерию	Построена матрица оценок
Расчет интегральных приоритетов проектов	$S = \{S_1, S_2, \ldots, S_n\}$	На основе критериев и их весов определяется итоговая оценка каждого проекта	Получен вектор приоритетов проектов
Формирование портфеля проектов	$\Pi = \{x_i \in X / z_i = 1\}$	Из множества проектов выбираются те, которые включаются в портфель с учетом ограничений	Сформирован состав портфеля
Проверка ресурсных ограничений	$\sum z_i b_i \le B$	Проверяется соответствие выбранных проектов имеющимся ресурсам организации	Подтверждена реализуемость портфеля
Балансировка и корректировка портфеля	Π^*	Выполняется корректировка состава портфеля с учетом рисков, неопределенности и стратегических приоритетов	Сформирован сбалансированный портфель
Мониторинг и актуализация	$P_i \qquad P_i'$	По мере реализации проектов параметры уточняются, а состав портфеля может пересматриваться	Обеспечивается адаптация портфеля к изменениям

ев оценки проектов определяется набор критериев, а также осуществляется их структурирование с учетом взаимосвязей между ними. Критерии оценки должны отражать показатели эффективности проектов и учитывать их научную, технологическую и стратегическую значимость.

На этапе многокритериальной оценки и приоритизации проектов формируется список проектов, ранжированный по значимости для организации.

Этап формирования портфеля проектов с учетом ресурсных ограничений предполагает выбор проектов для включения в портфель с учетом доступных ресурсов и стратегических целей организации.

В рамках этапа анализа структуры портфеля и его балансировки оценивается распределение проектов по уровням риска, направлениям исследований и ресурсам. При необходимости осуществляется корректировка состава портфеля.

Этап мониторинга и корректировки портфеля проектов направлен на уточнение прогнозных оценок и корректировку состава портфеля. Управление портфелем проектов носит итерационный характер и требует постоянного анализа и адаптации к изменяющимся усло-

виям.

Интегральная оценка проекта рассчитывается по формуле:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} w_j a_{ij}, \quad (1)$$

где S_i – итоговый приоритет проекта, w_j – вес критерия, a_{ij} – оценка проекта по критерию.

Ограничение по ресурсам рассчитывается следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{n} z_i b_i \le B, \quad (2)$$

где z_i принимает значение 1, если проект включен в портфель, и 0 – если не включен.

Представленный алгоритм не следует рассматривать как линейную и однократно выполняемую последовательность действий. Для управления составом портфеля НИОКР-проектов типичен итерационный характер, поскольку по мере реализации проектов изменяются как внутренние параметры самих проектов, так и внешние условия, в которых осуществляется научно-исследовательская деятельность. Это означает, что после прохождения этапов первичного отбора и формирования портфеля организация должна периодически возвращаться к этапам прогнозирования, переоценки критериев и корректировки состава портфеля. Такая логика особенно важна для НИОКР-проектов, где новые данные могут существенно изменить представление о научной значимости, сроках, ресурсных потребностях и вероятности успешного завершения проекта.

Результаты и обсуждение

Практическая ценность предложенного алгоритма заключается и в том, что он позволяет формализовать переход от экспертных представлений о проекте к управленческому решению о включении его в портфель.

В практическом отношении реализация алгоритма также позволяет решить сразу несколько задач. С одной стороны, появляется возможность формализованно определить, какие проекты должны быть включены в портфель в первую очередь. С другой стороны, становится возможным объяснить, почему отдельные проекты получили более низкий приоритет или были временно исключены из состава портфеля.

В итоге алгоритм представляет собой формализованную, адаптивную и многокритериальную последовательность действий, направленную на обоснованный отбор, ранжирование и балансировку проектов в условиях неопределенности.

Заключение

В рамках проведенного исследования разработана концепция управления составом портфеля НИОКР-проектов научно-исследовательских подразделений, представленная в виде итерационного алгоритма из двенадцати этапов. Для каждого этапа определены содержание, формальное обозначение и ожидаемый результат, что позволило структурировать процесс от проектов-кандидатов до сбалансированного портфеля с учетом ресурсных ограничений. Предложены формулы интегральной оценки приоритета проекта и проверки ресурсных ограничений, а также обоснована необходимость периодического возврата к этапам прогнозирования и переоценки критериев в силу высокой неопределенности, присущей НИОКР-проектам.

Наличие формализованного алгоритма, системы параметров и критериев создает потенциал для последующей реализации прикладной модели и ее экспериментальной проверки в условиях действующего научно-исследовательского подразделения.

Литература

1. Алексеев, А.А. Инновационный менеджмент : учебник и практикум / А.А. Алексеев. – М. : Юрайт, 2021. – 259 с.

2. Аньшин, В.М. Исследование методологии оценки и анализ зрелости управления портфелями проектов в российских компаниях : монография / В.М. Аньшин, О.Н. Ильина. – М. : ИНФРА-М, 2022.

3. Батанов, Ф.А. Техническая и технико-экономическая неопределенности в НИОКР и инно-

вационных проектах: углубленный обзор / Ф.А. Батанов // Индустриальная экономика. – 2025. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskaya-i-tehniko-ekonomicheskaya-neopredelennosti-v-niokr-i-innovatsionnyh-proektah-uglublennyy-obzor.

4. Лишанло, С.В. Портфельный подход к управлению инновациями на современном предприятии / С.В. Лишанло // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. – 2011. – № 2. – С. 26–28.

5. Сидоров, А.А. Адаптивные методы управления портфелем инновационных проектов / А.А. Сидоров // Управление проектами и программами. – 2023. – № 2. – С. 112–125.

6. Титов, С.А. Имитационное моделирование в задачах многокритериального отбора НИОКР-проектов / С.А. Титов, Д.В. Сухоруков // Экономика и математические методы. – 2024. – Т. 60. – № 1. – С. 78–92. – DOI: 10.31857/S0424738824010064.

7. Lee, S. Balancing Exploration and Exploitation in R&D Project Portfolios: A Resource-Based View / S. Lee, H. Kim // R&D Management. – 2024. – Vol. 54. – No. 3. – P. 456–470. – DOI: 10.1111/radm.12601.

8. Li, H. Uncertain Public R&D Project Portfolio Selection Considering Sectoral Balancing and Project Failure / H. Li, R. Chen, X. Zhang // Sustainability. – 2022. – Vol. 14. – Article 15774. – DOI: 10.3390/su142315774.

9. Martínez, L. A Hybrid MCDM Model for R&D Project Portfolio Selection under Uncertainty / L. Martínez, J. García // Journal of Innovation & Knowledge. – 2023. – Vol. 8. – No. 4. – Article 100452. – DOI: 10.1016/j.jik.2023.100452.

10. Mohagheghi, V. Project Portfolio Selection Problems: A Review of Models, Uncertainty Approaches, Solution Techniques, and Case Studies / V. Mohagheghi, S.M. Mousavi, J. Antuchevičienė, M. Mojtahedi // Technological and Economic Development of Economy. – 2019. – Vol. 25. – No. 6. – P. 1380–1412. – DOI: 10.3846/tede.2019.11410.

11. Smith, J. Multi-Criteria Decision Making in R&D Portfolio Management under Uncertainty: A Systematic Review / J. Smith, A. Brown // Technological Forecasting and Social Change. – 2025. – Vol. 210. – Article 123456. – DOI: 10.1016/j.techfore.2024.123456.

References

1. Alekseev, A.A. Innovatsionnij menedzhment : uchebnik i praktikum / A.A. Alekseev. – M. : YUrajt, 2021. – 259 s.

2. Anshin, V.M. Issledovanie metodologii otsenki i analiz zrelosti upravleniya portfelyami proektov v rossijskikh kompaniyakh : monografiya / V.M. Anshin, O.N. Ilina. – M. : INFRA-M, 2022.

3. Batanov,, F.A. Tekhnicheskaya i tekhniko-ekonomicheskaya neopredelennosti v NIOKR i innovatsionnykh proektakh: uglublennij obzor / F.A. Batanov // Industrialnaya ekonomika. – 2025. – № 2 [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupa : https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskaya-i-tehniko-ekonomicheskaya-neopredelennosti-v-niokr-i-innovatsionnyh-proektah-uglublennyy-obzor.

4. Lishanlo, S.V. Portfelnij podkhod k upravleniyu innovatsiyami na sovremennom predpriyatii / S.V. Lishanlo // Innovatsionnaya ekonomika: informatsiya, analitika, prognozy. – 2011. – № 2. – S. 26–28.

5. Sidorov, A.A. Adaptivnye metody upravleniya portfelem innovatsionnykh proektov / A.A. Sidorov // Upravlenie proektami i programmami. – 2023. – № 2. – S. 112–125.

6. Titov, S.A. Imitatsionnoe modelirovanie v zadachakh mnogokriterialnogo otbora NIOKR-proektov / S.A. Titov, D.V. Sukhorukov // Ekonomika i matematicheskie metody. – 2024. – T. 60. – № 1. – S. 78–92. – DOI: 10.31857/S0424738824010064.

© И.Л. Чередниченко, А.В. Сурина, 2026

УДК 004.832.34

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ РИСКОВЫХ АРЕНДНЫХ СХЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТРОЛЬНО-КАССОВОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА ФИСКАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Д.Д. ШЕСТАКОВ, А.А. СПИЦЫНА, А.М. КИМ, С.О. КУРАШКИН

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

Ключевые слова и фразы: обработка временных рядов; контрольно-кассовая техника (**ККТ**); машинное обучение; обработка текстов; поведенческие признаки; фискальные данные.

Аннотация: Цель исследования заключается в построении и экспериментальной оценке подхода к автоматизированному обнаружению рисковых арендных схем применения контрольно-кассовой техники. В качестве источников информации рассматриваются фискальные документы, товарные наименования в кассовых чеках, а также агрегированные поведенческие характеристики ККТ. Практическая значимость работы определяется необходимостью развития риск-ориентированных инструментов мониторинга, позволяющих выделять группы устройств с нетипичным профилем расчетов.

Задачи исследования включали разработку комплексного признакового описания ККТ; формирование текстовых, статистических, фискальных и поведенческих характеристик; анализ применимости *FastText* и *BERT*-подобных моделей для представления текстов чеков; обучение моделей бинарной классификации известных рисковых схем; кластеризацию полной совокупности кассовых аппаратов для поиска ранее неразмеченных групп устройств; интерпретацию результатов с использованием методов объяснимого анализа.

Гипотеза исследования состоит в предположении, что рисковые арендные схемы отражаются не только в лексическом составе чеков, но и в устойчивых отличиях операционного профиля ККТ. Предполагалось, что совместное использование семантических, статистических и временных признаков позволит повысить качество выявления таких схем по сравнению с анализом отдельных групп показателей, а методы кластеризации дадут возможность выделять потенциально рисковые устройства без полной предварительной разметки.

Методическую основу работы составили методы машинного обучения, обработки естественного языка и многомерного анализа данных. Для представления текстов использовались *FastText* и *BERT*-подобные эмбеддинги; для классификации применялись градиентный бустинг, случайный лес, логистическая регрессия и нейронные сети; для снижения размерности и кластеризации использовались *UMAP*, *K-Means*, *DBSCAN* и *HDBSCAN*. Интерпретация классификационных решений проводилась на основе *SHAP*, а анализ кластеров – с использованием *Z-score*, робастного *Z-score* и процентильных характеристик признаков.

Экспериментальная часть выполнена на двух связанных массивах данных: полной обезличенной выборке из 49 934 ККТ и приблизительно 20 млрд фискальных чеков за октябрь – декабрь 2023 г., а также размеченной выборке по ОКВЭД 47.11 и 47.19, включающей около 180 тыс. записей. На объединенной размеченной выборке модель, использующая фискальные и поведенческие признаки, достигла *accuracy* 0,96 и *F*1-*score* 0,94. В задаче кластеризации полной выборки наилучшие результаты обеспечила связка *UMAP* и *HDBSCAN*: *Silhouette Score* составил 0,803, индекс *Davies–Bouldin* – 0,238. Выделенный аномальный кластер включал 7074 устройства; в него попали

все маркированные ККТ с признаками арендных схем, а их доля внутри кластера составила 28,3 %. Полученные результаты показывают возможность применения предложенного подхода в системах риск-ориентированного анализа фискальных данных.

Введение

Развитие цифровой инфраструктуры фискального контроля привело к накоплению значительных массивов сведений о расчетах, проводимых с использованием контрольно-кассовой техники. Передача информации о расчетах в электронном виде создает основу для применения автоматизированных аналитических инструментов, ориентированных на выявление нетипичных моделей поведения хозяйствующих субъектов. Вместе с тем масштаб данных, различия в их структуре и высокая интенсивность поступления фискальных документов делают традиционный ручной анализ недостаточным для решения подобных задач.

Одним из направлений такого анализа является обнаружение рисковых арендных схем использования ККТ. В рамках данной работы под такой схемой понимается ситуация, при которой фактический характер эксплуатации кассового аппарата может не соответствовать обычному профилю деятельности зарегистрированного пользователя. Подобные случаи значимы для риск-ориентированного контроля, поскольку они способны затруднять установление реального участника расчетов и изменять наблюдаемую картину финансовых потоков.

Методы машинного обучения позволяют рассматривать указанную проблему как совокупность задач классификации, поиска аномалий и анализа последовательностей. При этом особое значение имеет объединение структурированных фискальных показателей и неструктурированных текстовых данных, содержащихся в кассовых чеках. Товарные наименования отражают специфику деятельности торговой точки, а агрегированные показатели операций характеризуют поведение ККТ во времени.

Цель исследования состоит в разработке и проверке подхода к автоматизированному выявлению рисковых арендных схем применения ККТ с использованием методов машинного обучения, обработки естественного языка и интерпретируемого анализа признаков.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: сформировано признаковое пространство, включающее текстовые, статистические, фискальные и поведенческие характеристики; исследованы способы векторного представления текстов чеков на основе *FastText* и *BERT*-подобных моделей; обучены и сопоставлены модели бинарной классификации; оценен вклад различных групп признаков; выполнена кластеризация полной совокупности ККТ; проведена интерпретация классификационных и кластерных результатов.

Научная новизна работы заключается в комплексном описании ККТ как объекта анализа, объединяющем семантику чеков, статистику текстового потока и поведенческие агрегаты фискальных данных. Практический результат исследования состоит в экспериментальном подтверждении возможности применения такого описания для выделения групп устройств с признаками рисковых схем.

Формирование признакового пространства

В исследовании каждая ККТ рассматривалась как самостоятельный объект, для которого во времени формируется поток фискальных документов. Исходные операции агрегировались на уровне устройства за период до 92 дней. В базовый набор показателей вошли дневная выручка, количество чеков, доли наличных и безналичных расчетов, число товарных позиций, средняя сумма чека, средняя цена позиции, а также количество дней без зарегистрированной активности.

На основе полученных временных рядов рассчитывались статистические и динамические признаки. К ним относились среднее значение, медиана, дисперсия, коэффициент вариации, асимметрия, эксцесс, характеристики линейного тренда, автокорреляционные показатели, волатильность и доля нулевых наблюдений. Для описания повторяемости и сезонности применялись спектральные характеристики, включая быстрое преобразование Фурье, а также *STL*-декомпозиция. Дополнительно использовались энтропийные меры, позволяющие оценивать степень регулярности и предсказуемости операций.

Текстовая часть признакового пространства формировалась по наименованиям товаров

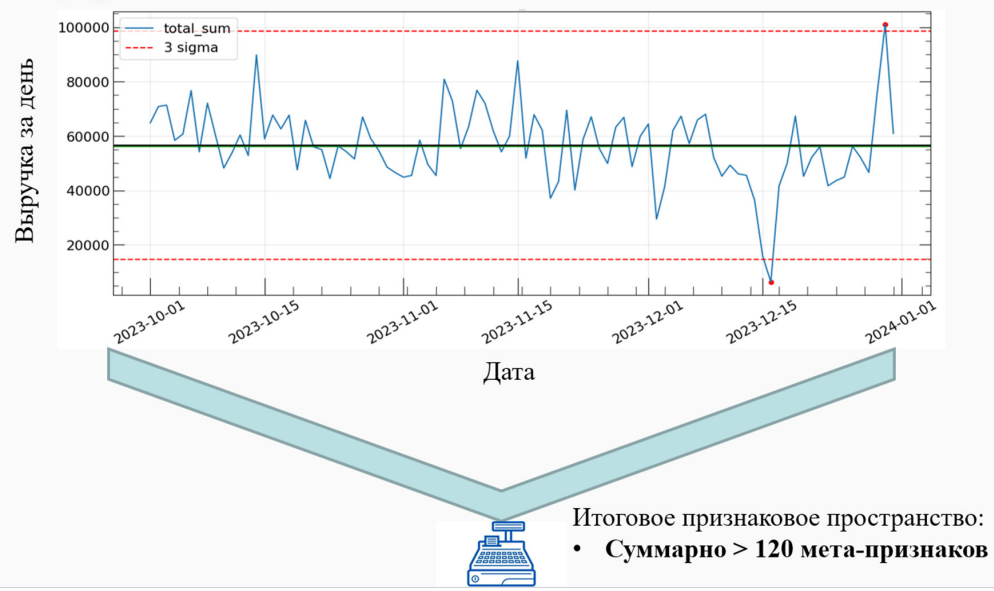


Рис. 1. Принципиальная схема преобразование многомерного временного ряда в единый объект исследования – ККТ

и услуг в чеках. Предварительная обработка включала удаление служебных символов, унификацию регистра, токенизацию, исключение стоп-слов и коротких фрагментов. После очистки тексты объединялись на уровне конкретной ККТ. Далее вычислялись показатели лексического разнообразия: число уникальных слов, доля редких и часто встречающихся токенов, отношение уникальных токенов к общему объему текста, энтропия слов, коэффициент Джини по частотам токенов и метрики повторяемости чеков. Преобладание небольшого числа одинаковых товарных позиций приводило к росту коэффициента Джини и снижению текстовой энтропии.

Для учета семантической близости товарных наименований применялись векторные представления *FastText* и *BERT*-подобные модели. *FastText* использовался благодаря возможности учитывать символьные *n*-граммы, что важно для коротких доменных текстов, содержащих сокращения, опечатки и различные варианты написания товаров [1]. Размерность *FastText*-векторов составляла 300. *BERT*-подобная модель применялась для получения контекстуализированных эмбеддингов размерности 768, отражающих не только набор слов, но и контекст их употребления [2; 3]. Для уменьшения вычислительной нагрузки перед построением эмбеддингов исключались повторяющиеся текстовые фрагменты.

Перед обучением моделей проводилась единая процедура подготовки признаков. Она включала обработку пропущенных значений, удаление признаков с низкой дисперсией, контроль высокой корреляции, логарифмирование распределений с выраженными тяжелыми хвостами и масштабирование. Для алгоритмов, чувствительных к масштабу переменных, использовалась стандартизация. В задачах кластерного анализа дополнительно применялось масштабирование признаков, позволяющее снизить влияние различий в единицах измерения.

В результате были сформированы четыре группы признаков: семантические текстовые эмбеддинги; статистические характеристики текстов чеков; фискальные и поведенческие показатели; комбинированные признаки, объединяющие наиболее информативные текстовые и операционные характеристики. Такое представление позволяло описывать ККТ не только через содержание чеков, но и через устойчивые особенности расчетного поведения.

На рис. 1 изображено, как происходило отображение единого объекта ККТ в составленном признаковом пространстве.

Классификация по текстовым и статистическим признакам

На первом этапе решалась вспомогательная задача классификации видов экономиче-

Таблица 1. Сравнение качества кластеризации данных ККТ

Метод	Параметры	*Silhouette Score*	Индекс *Davies – Bouldin*	Доля известных арендных ККТ в ключевом кластере, %
K-Means	$K = 9$	0,731	0,470	28,3
DBSCAN	*Eps* = 1,5	0,797	0,222	28,3
HDBSCAN	*min_cluster_size* = 500	0,803	0,238	28,3

ской деятельности по текстам чеков. Исходный массив включал около 180 тыс. записей, каждая из которых соответствовала сочетанию идентификатора ККТ и временного интервала. После агрегации данных на уровне кассового аппарата размер выборки составил приблизительно 73 тыс. объектов. В качестве входного описания использовались *FastText*-векторы размерности 300.

Градиентный бустинг в этой постановке показал *accuracy* около 0,90 и *F*1-*score* около 0,90. Наиболее устойчивые результаты были получены для классов с относительно однородным товарным составом, в том числе для медицинских товаров и *FMCG*. Для более неоднородных групп качество снижалось, что объясняется разнообразием товарных наименований и менее выраженной семантической структурой чеков. Полносвязная нейронная сеть продемонстрировала более высокое качество по сравнению с бустингом, что указывает на возможность выявления нелинейных зависимостей в пространстве эмбеддингов. Значения предпоследнего слоя сети использовались далее как компактное латентное представление размерности 128.

Первый блок экспериментов по непосредственному выявлению арендных схем был выполнен на текстовых представлениях чеков. Для ОКВЭД 47.11 градиентный бустинг на *FastText*-признаках достиг *accuracy* 0,92 и *F*1-*score* 0,86. Для ОКВЭД 47.19 результат оказался выше: *accuracy* 0,94 и *F*1-*score* 0,92. При объединении данных по двум кодам деятельности *accuracy* составила 0,93, а *F*1-*score* – 0,89. Для визуального анализа разделимости объектов использовались *PCA* и *t-SNE* [9]. Проекция *t-SNE* показала наличие локальных областей концентрации устройств с признаками арендных схем, однако пересечение классов сохранялось, что указывало на необходимость привлечения дополнительных фискальных характеристик.

Второй блок экспериментов был связан со статистическими характеристиками текстов чеков. В отличие от семантических эмбеддингов, данный набор признаков описывал не смысл товарных позиций, а структуру текстового потока: разнообразие словаря, повторяемость, частотные распределения и энтропию.

Для ОКВЭД 47.11 модель градиентного бустинга на таких признаках достигла *accuracy* 0,95 и *F*1-*score* – 0,92. На объединенной выборке по двум видам деятельности *accuracy* составила 0,93, *F*1-*score* – 0,89. Следовательно, статистика текстов чеков оказалась сопоставимой по эффективности с семантическими признаками.

Интерпретация с помощью *SHAP* показала, что значимый вклад в решение модели вносят показатели, связанные с энтропией слов, числом уникальных токенов и повторяемостью чеков [8]. Это означает, что рисковый профиль может проявляться не только через содержание товарных позиций, но и через однотипность формируемых текстов.

Результаты исследования

Предложенный аналитический конвейер был проверен на полной выборке, включающей 49 934 кассовых аппарата. Для каждого устройства было рассчитано около 200 агрегированных признаков. После предварительной обработки и снижения размерности сравнивались алгоритмы *K-Means*, *DBSCAN* и *HDBSCAN*.

Качество кластеризации оценивалось по внутренним метрикам и по внешнему критерию, связанному с наличием частичной разметки известных рисковых арендных схем. Важно отметить, что указанная разметка не использовалась при построении кластеров и применялась только для содержательной проверки полученных результатов.

Наиболее устойчивое представление данных было получено при использовании *UMAP*. По сравнению с исходным пространством признаков и автоэнкодерным представлением, *UMAP* позволил получить более компактную структуру объектов и улучшить разделение групп устройств. Сводные результаты сравнения алгоритмов представлены в табл. 1.

Наибольшее значение *Silhouette Score* было получено для *HDBSCAN* – 0,803. *DBSCAN* показал близкий результат по *Silhouette Score* – 0,797 и меньший индекс *Davies–Bouldin*, равный 0,222. Несмотря на близость численных метрик, *HDBSCAN* оказался предпочтительным за счет большей устойчивости к изменению параметров и способности выделять кластеры с различной плотностью. В связи с этим в качестве основной была выбрана комбинация *UMAP* и *HDBSCAN*.

Ключевой аномальный кластер, выделенный *HDBSCAN*, включал 7074 кассовых аппарата. В него вошли 100 % размеченных устройств с признаками арендных схем из контрольной выборки. Доля известных рисковых ККТ внутри данного кластера составила 28,3 %. Остальные устройства, не имевшие предварительной разметки, могут рассматриваться как кандидаты для последующего экспертного анализа.

Для объяснения классификационных моделей использовался *SHAP*, а для интерпретации кластерной структуры применялись *Z-score*, робастный *Z-score* и процентильное сравнение распределений признаков. Анализ показал, что устройства аномального кластера имеют ряд устойчивых отличий от основной совокупности.

Во-первых, средняя доля безналичной оплаты в аномальном кластере была ниже 1 %, тогда как в нормальных кластерах она составляла около 74 %. Абсолютное значение *Z-score* по данному признаку превышало 7, что свидетельствует о крайне сильном отклонении от типичного профиля расчетов. Во-вторых, тексты чеков в аномальном кластере характеризовались низким разнообразием: в них повторялось ограниченное число слов и товарных наименований. В-третьих, среднее количество чеков в день и число позиций в чеке были ниже, чем в основной совокупности, при одновременном увеличении средней цены товарной позиции. Такая конфигурация признаков указывает на структуру операций, отличающуюся от типичной розничной торговли. В-четвертых, для части устройств наблюдалась регистрация по одинаковым или близким физическим адресам, что может дополнительно указывать на групповой характер выявленного поведения.

Таким образом, аномальный кластер описывается сочетанием нескольких признаков: крайне низкая доля безналичных расчетов; повышенная повторяемость операций; низкое лексическое разнообразие чеков; небольшое число товарных позиций; повышенная средняя цена позиции; частичная пространственная концентрация устройств. Совокупность этих характеристик согласуется с гипотезой о наличии группы ККТ, поведение которых существенно отличается от обычной хозяйственной активности и требует дополнительной проверки.

Следовательно, выделенный кластер обладает высокой полнотой по известным рисковым случаям, поскольку все размеченные ККТ с признаками арендных схем были отнесены именно к нему. Одновременно наличие значительного числа ранее неразмеченных устройств означает, что результаты кластеризации должны использоваться как инструмент приоритизации, а не как окончательное основание для вывода о нарушении.

Заключение

В работе предложен комбинированный подход к автоматизированному выявлению ККТ с признаками рисковых арендных схем. Подход объединяет обработку текстов чеков, расчет статистических, временных, фискальных и поведенческих признаков, обучение моделей бинарной классификации и кластеризацию полной совокупности устройств методами машинного обучения без учителя.

Экспериментальная проверка проведена на крупном массиве фискальных данных за октябрь – декабрь 2023 г., включающем 49 934 кассовых аппарата и около 20 млрд чеков. На объединенной размеченной выборке по ОКВЭД 47.11 и 47.19 модель на основе фискальных и поведенческих признаков достигла *accuracy* 0,96 и *F*1-*score* – 0,94.

В задаче кластеризации наилучшее качество показала комбинация *UMAP* и *HDBSCAN*: *Silhouette Score* составил 0,803, индекс *Davies – Bouldin* – 0,238. Выделенный аномальный кластер содержал 7074 устройства и включал все известные рисковые ККТ из контрольной выборки.

Интерпретация признаков показала, что аномальный кластер отличается крайне низкой долей безналичных расчетов, сниженной энтропией текстов чеков, малым числом уникальных товарных позиций, меньшим количеством чеков и повышенной средней ценой позиции.

Эти характеристики формируют устойчивый поведенческий профиль, отличающийся от типичной хозяйственной деятельности.

Предложенный подход может применяться как элемент систем риск-ориентированного налогового мониторинга. Он не заменяет экспертную проверку и не устанавливает факт нарушения, однако позволяет автоматически выделять группы ККТ с нетипичным поведением, ранжировать объекты анализа и повышать эффективность обработки больших массивов фискальной информации.

Литература

1. Bojanowski P., Grave E., Joulin A., Mikolov T. Enriching Word Vectors with Subword Information // Transactions of the Association for Computational Linguistics. 2017. Vol. 5. P. 135–146.

2. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics. Minneapolis, 2019. P. 4171–4186.

3. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Hong Kong, 2019. P. 3982–3992.

4. Friedman J.H. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine // The Annals of Statistics. 2001. Vol. 29. No. 5. P. 1189–1232.

5. Lundberg S.M., Lee S.-I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions // Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. Vol. 30. P. 4765–4774.

6. Van der Maaten L., Hinton G. Visualizing Data using t-SNE // Journal of Machine Learning Research. 2008. Vol. 9. P. 2579–2605.

7. Калуцкий, Н.О. Повышение уровня управляемости и защищенности корпоративной инфраструктуры предприятий малого сектора экономики за счет модернизации локальных вычислительных сетей / Н.О. Калуцкий, Г.С. Смирнов, Ж.Р. Ким, В.С. Тынченко // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 6(189). – С. 31–37.

8. Смирнов, Г.С. Суррогатное моделирование профилей отклика однокубитной калибровки квантового процессора с использованием GPR / Г.С. Смирнов, А.А. Спицына, В.С. Тынченко // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 6(189). – С. 43–47.

References

7. Kalutskij, N.O. Povyshenie urovnya upravlyaemosti i zashchishchennosti korporativnoj infrastruktury predpriyatij malogo sektora ekonomiki za schet modernizatsii lokalnykh vychislitelnykh setej / N.O. Kalutskij, G.S. Smirnov, ZH.R. Kim, V.S. Tynchenko // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 6(189). – S. 31–37.

8. Smirnov, G.S. Surrogatnoe modelirovanie profilej otklika odnokubitnoj kalibrovki kvantovogo protsessora s ispolzovaniem GPR / G.S. Smirnov, A.A. Spitsyna, V.S. Tynchenko // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 6(189). – S. 43–47.

© Д.Д. Шестаков, А.А. Спицына, А.М. Ким, С.О. Курашкин, 2026

УДК 004.94; 004.771

ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ЭПОХУ ОБУЧЕНИЯ 4.0: ОТ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ К УДАЛЕННЫМ ЛАБОРАТОРИЯМ

Н.Ю. БАРЫШНИКОВА, БАЛСА АЛДРИН, Д.С. ВАСИЛЬЧЕНКО

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: виртуальная лаборатория; Интернет вещей; Обучение 4.0; удаленная лаборатория; цифровизация образования; *SmartLab*.

Аннотация: Цель – теоретическое обоснование и разработка концепции трансформации инженерного образования через интеграцию виртуальных и удаленных лабораторий в единую цифровую среду «Обучение 4.0».

Задачи: изучить теоретико-методологические основы парадигмы «Обучение 4. 0» в контексте подготовки инженерных кадров; провести сравнительный анализ функциональных возможностей виртуальных и удаленных лабораторных комплексов; выявить проблемы использования устаревшего лабораторного оборудования в современных условиях цифровизации; разобрать и обосновать архитектуру гибкой открытой платформы *SmartLab* как инструмента интеграции реального оборудования в цифровую среду.

Гипотеза: предполагается, что переход к инженерному образованию формата 4.0 будет наиболее эффективным при создании гибридной образовательной среды (платформы *SmartLab*), которая позволит объединить виртуальное моделирование с удаленным доступом к реальному оборудованию, обеспечивая при этом вторую жизнь устаревающей материально-технической базе вуза.

Методы: системный анализ педагогической и технической литературы по теме индустриальной революции 4.0; классификация и сравнительный анализ существующих программных решений для виртуальных лабораторий; моделирование архитектуры программно-аппаратных комплексов.

Результаты: определены ключевые требования к инженерному образованию в рамках парадигмы «Обучение 4.0», ориентированные на гибкость и открытость образовательных ресурсов; сформулированы критерии выбора между виртуальными моделями и удаленными лабораториями в зависимости от дидактических целей; разработана концепция платформы *SmartLab*, которая позволяет интегрировать аналоговое и устаревшее оборудование в современную цифровую инфраструктуру, обеспечивая студентам удаленный доступ к проведению реальных экспериментов; обоснована экономическая и педагогическая целесообразность использования гибридных комплексов для подготовки инженеров нового поколения.

Введение

После окончания пандемии *COVID*-19 процессы глобализации и цифровизации образования ускорились многократно. Удаленная работа и онлайн-обучение стали нормой, однако лабораторные практикумы в инженерных направлениях по-прежнему требуют физического взаимодействия с оборудованием. Традиционная модель организации лабораторных работ уже не отвечает требованиям современной промышленности и глобального рынка труда.

В настоящее время наблюдается устойчивая конвергенция физических объектов и виртуальных систем, что нашло отражение в концепции Индустрии 4.0 и ее образовательно-

го аналога – «Обучения 4.0». Цель настоящей статьи – раскрыть теоретические основы этой трансформации и обосновать переход от виртуальных моделей к полноценным удаленным автоматизированным лабораториям на примере концепции *SmartLab*.

Концепция «Обучение 4.0»

В настоящее время наблюдается устойчивый тренд на переход промышленности и системы образования к качественно иному технологическому укладу, базирующемуся на конвергенции физических объектов и виртуальных систем. В производственном секторе это выражается в создании автономных линий, функционирующих без непосредственного участия человека.

Концепция «Обучение 4.0» открывает перед педагогическим сообществом принципиально новые горизонты для трансформации образовательного процесса. Данная парадигма предполагает отказ от традиционной лекционной модели в пользу персонализированных образовательных траекторий. Интеграция цифровых платформ обеспечивает обучающимся доступ к интерактивным форматам занятий и возможность проведения лабораторных экспериментов в удаленном формате, что, в свою очередь, способствует повышению гибкости учебного процесса и его адаптации к запросам высокотехнологичной индустрии.

Развитие промышленности, таким образом, детерминирует трансформацию образовательной парадигмы через внедрение принципов «Образования 4.0» [1]. Указанная трансформация предполагает не просто автоматизацию рутинных процессов, а качественный переход от трансляции готовых знаний к формированию персонализированной, интерактивной и адаптивной образовательной среды, отвечающей вызовам цифровой экономики и высокотехнологичного рынка труда.

Следует отметить, что конвергенция педагогических подходов и современных цифровых инноваций становится ключевым фактором модернизации образовательного ландшафта [2]. Подобный синтез создает основу для построения адаптивных образовательных траекторий, способствующих формированию у обучающихся профессиональных компетенций, соответствующих актуальному уровню технологического развития. С этой точки зрения, концепция «Образование 4.0» позиционируется как стратегический вектор развития высшей школы, ориентированный на подготовку кадров для инновационных секторов экономики.

К числу отличительных характеристик концепции «Образование 4.0» можно отнести следующие ключевые элементы:

1. Цифровизация образования расширяет и изменяет всю образовательную среду, внедряя различные цифровые технологии и электронные ресурсы [3] для того, чтобы улучшить качество, а также эффективность обучения.

2. Индивидуальный подход к обучению становится с каждым годом доступнее из-за адаптивных технологий, которые учитывают особенности и потребности каждого обучающегося [1].

3. Дистанционное обучение и технологии хорошо идут рука об руку. Само дистанционное обучение подразумевает, что учишься полностью на расстоянии. А вот дистанционные технологии как раз и дают возможность заходить в разные учебные платформы и получать образование любого уровня, используя при этом интернет и другие способы связи [4].

4. Современные технологии, такие как дополненная и виртуальная реальность, а также искусственный интеллект помогают повысить интерес и активность обучающихся [2].

Таким образом, применение вышеперечисленных методов способствует формированию субъектной позиции обучающегося, в том числе и повышению результатов академической подготовки в условиях цифровой трансформации высшего образования.

5. В контексте современной образовательной парадигмы феномен «навыков XXI века» интерпретируется как когнитивно-поведенческий комплекс универсальных метапредметных компетенций. Указанная система инвариантных характеристик личности обеспечивает адаптивность к динамичным изменениям информационного общества и выступает фундаментом профессиональной мобильности. В отличие от узкоспециализированных знаний [5]. Данный комплекс обладает свойством трансверсальности, что позволяет экстраполировать его на различные сферы деятельности вне зависимости от отраслевого контекста.

6. Дисциплина и коммуникативные навыки выступают фундаментальными предпосылками для эффективной групповой работы и междисциплинарного синтеза знаний, необ-

ходимого для решения комплексных практических задач в условиях современной профессиональной среды [1].

7. Проектно-ориентированное обучение представляет собой педагогическую методологию, при которой образовательный процесс структурируется вокруг решения практических задач и реализации реальных проектов, что принципиально отличает его от традиционных методов, ориентированных на пассивное усвоение теории.

8. Открытые образовательные ресурсы, предоставляющие бесплатный и неограниченный доступ к учебно-методическим материалам, поддерживают практики самостоятельного обучения [6] и расширяют возможности непрерывного образования для широкого круга пользователей.

Таким образом, концепция «Обучение 4.0» нацелена на подготовку высококвалифицированных кадров, способных к эффективной профессиональной деятельности и успешной конкуренции на рынке труда в условиях глобальной цифровизации.

Данная концепция предоставляет обучающимся доступ к практико-ориентированным средам [7], способствуя тем самым преодолению разрыва между академической средой и требованиями современной промышленности.

Сравнительный анализ лабораторных сред

Виртуальные лаборатории

Виртуальные лаборатории – это программные комплексы, имитирующие реальные эксперименты с помощью математических моделей и симуляций [6].

Преимущества:

– значительное снижение затрат на оборудование и эксплуатацию;

– высокая доступность для студентов из отдаленных регионов;

– полная безопасность при работе с опасными веществами и процессами;

– возможность многократного повторения эксперимента с изменением параметров.

Недостатки:

– результаты полностью детерминированы алгоритмами – невозможно получить новые экспериментальные данные;

– отсутствие реального тактильного опыта и ощущения «живого» эксперимента;

– ограниченная точность моделирования сложных физических процессов;

– снижение мотивации из-за недостаточного погружения.

Удаленные и автоматизированные лаборатории

Удаленные лаборатории предоставляют доступ к реальному физическому оборудованию через интернет [8]. Студент управляет настоящими приборами и получает реальные данные с учетом всех погрешностей, шумов и неопределенностей.

Преимущества:

– высокая достоверность результатов;

– развитие настоящих исследовательских навыков;

– возможность автоматизации массовых экспериментов;

– значительное увеличение количества проводимых исследований [4].

Недостатки:

– более высокая стоимость создания и поддержки;

– сложности интеграции устаревшего оборудования;

– требования к надежности каналов связи и защите от несанкционированного доступа [8].

Для достижения наилучшего качества образования наиболее эффективно будет использование комбинированного подхода.

Проблема «узких мест» интеграции

Большинство лабораторного оборудования в российских вузах было создано до эпохи Интернета вещей и не предназначено для удаленного и роботизированного управления. Отсутствие единых протоколов, высокая стоимость модернизации и ограниченность пространства для размещения манипуляторов [5] существенно тормозят развитие удаленных лабораторий.

Концепция интеллектуальной платформы SmartLab

SmartLab – это полностью открытая иерархическая вычислительная лабораторная автоматизированная платформа, объединяющая технологии Интернета вещей, робототехнику, *VR*/*AR* и облачные вычисления.

Платформа проектируется с учетом пяти ключевых принципов.

1. Максимальное использование существующего оборудования без полной замены.

2. Обеспечение иммерсивного пользовательского интерфейса (видео в реальном време-

ни, *VR*-погружение).

3. Автоматическое планирование экспериментов, контроль и генерация отчетов.

4. Полноценная поддержка дистанционного и полностью автономного режимов работы.

5. Открытый исходный код и модульная архитектура для быстрого внедрения в различных лабораториях [7].

SmartLab позволяет преобразовать традиционные инженерные лаборатории в современные дистанционные комплексы, доступные студентам и исследователям по всему миру.

Заключение

Проведенный теоретико-методологический анализ подтверждает, что переход к парадигме «Обучение 4.0» требует принципиально новых подходов к организации практической подготовки студентов инженерных направлений. Традиционные лабораторные работы уже не могут в полной мере удовлетворять требованиям современной цифровой экономики и глобального рынка труда.

Сравнительный анализ показал, что виртуальные лаборатории обладают высокой доступностью и безопасностью, однако не позволяют получать реальные экспериментальные данные и полноценно формировать практические навыки. Удаленные автоматизированные лаборатории лишены этого недостатка, но сталкиваются с серьезными ограничениями при интеграции устаревшего оборудования.

Предлагаемая платформа *SmartLab* представляет собой эффективное решение обозначенных проблем. Будучи открытой, модульной и иерархической системой, она позволяет интегрировать существующее лабораторное оборудование в единую цифровую среду без дорогостоящей полной замены. Пять ключевых принципов проектирования (универсальность, иммерсивность, автоматизация, дистанционная доступность и открытость) обеспечивают ее гибкость и масштабируемость.

Внедрение *SmartLab* даст возможность:

– значительно расширить доступность реальных лабораторных экспериментов для студентов;

– повысить эффективность и объем проводимых исследований;

– обеспечить международное сотрудничество в реальном времени;

– сформировать у обучающихся компетенции, соответствующие требованиям Индустрии 4.0.

Внедрение *SmartLab* в образовательный процесс позволит вузам преодолеть разрыв между теорией и практикой.

Таким образом, *SmartLab* выступает перспективным инструментом цифровой трансформации инженерного образования, органично сочетая преимущества виртуальных моделей и реальных экспериментов.

Ее использование позволит техническим вузам выйти на качественно новый уровень практической подготовки специалистов, востребованных в условиях современной высокотехнологичной экономики.

Литература

1. Радаев, В.В. Преподавание в кризисе / В.В. Радаев. – М. : Издательский дом Высшей школы экономики, 2025. – 208 с.

2. Милушков, В.И. Искусственный интеллект в образовании / В.И. Милушков, Н.Н. Лиманский, А.В. Лаврук, И.Г. Бабылев // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2023. – № 2(161). – С. 23–27.

3. Попова, С.А. Цифровая образовательная среда: исходные понятия и концептуальное проектирование / С.А. Попова — М. : Издательский дом ИМЦ, 2021. – 253 с.

4. Кругликов, В.Н. Интерактивные образовательные технологии : учебник и практикум для вузов; 3-е изд. испр. и доп. / В.Н. Кругликов, М.В. Оленникова. – М. : Юрайт, 2025. – 355 с.

5. Нырков, А.П Применение искусственного интеллекта в управлении услугами информационных технологий: перспективы для университетов / А.П. Нырков, А.В. Скобелев // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 3(186). – С. 51–54.

6. Инженер. Виртуальная и дополненная реальность: Новые грани интерактивности / Инженер, 2025. – 29 с.

7. Мастерских, М.А. Разработка модульной лаборатории SmartLab для обучения студентов технических вузов технологиям IoT / М.А. Мастерских, М.Г. Кноль, А.О. Роенко // Нано Инду-

стрия. – М. : Крокус Экспо. – 2024. – Т. 17. – № 1. – С. 32–42.

8. Грошиков, Д. Умная лаборатория: испытания под контролем ИдеаЛаб / Д. Грошиков, В. Рыбалко // ВЕКТОР высоких технологий. – 2019. – № 1(41). – С. 30–33.

References

1. Radaev, V.V. Prepodavanie v krizise / V.V. Radaev. – M. : Izdatelskij dom Vysshej shkoly ekonomiki, 2025. – 208 s.

2. Milushkov, V.I. Iskusstvennij intellekt v obrazovanii / V.I. Milushkov, N.N. Limanskij, A.V. Lavruk, I.G. Babylev // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2023. – № 2(161). – S. 23–27.

3. Popova, S.A. TSifrovaya obrazovatelnaya sreda: iskhodnye ponyatiya i kontseptualnoe proektirovanie / S.A. Popova — M. : Izdatelskij dom IMTS, 2021. – 253 s.

4. Kruglikov, V.N. Interaktivnye obrazovatelnye tekhnologii : uchebnik i praktikum dlya vuzov; 3-e izd. ispr. i dop. / V.N. Kruglikov, M.V. Olennikova. – M. : YUrajt, 2025. – 355 s.

5. Nyrkov, A.P Primenenie iskusstvennogo intellekta v upravlenii uslugami informatsionnykh tekhnologij: perspektivy dlya universitetov / A.P. Nyrkov, A.V. Skobelev // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 3(186). – S. 51–54.

6. Inzhener. Virtualnaya i dopolnennaya realnost: Novye grani interaktivnosti / Inzhener, 2025. – 29 s.

7. Masterskikh, M.A. Razrabotka modulnoj laboratorii SmartLab dlya obucheniya studentov tekhnicheskikh vuzov tekhnologiyam IoT / M.A. Masterskikh, M.G. Knol, A.O. Roenko // Nano Industriya. – M. : Krokus Ekspo. – 2024. – T. 17. – № 1. – S. 32–42.

8. Groshikov, D. Umnaya laboratoriya: ispytaniya pod kontrolem IdeaLab / D. Groshikov, V. Rybalko // VEKTOR vysokikh tekhnologij. – 2019. – № 1(41). – S. 30–33.

© Н.Ю. Барышникова, Балса Алдрин, Д.С. Васильченко, 2026

УДК 004.896

УСТРАНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ФАЗОВОГО СДВИГА В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПРИ RL-НАВИГАЦИИ МЕТОДОМ ОБУЧЕНИЯ С МОДЕЛИРУЕМЫМИ ЗАДЕРЖКАМИ И ИСТОРИЕЙ НАБЛЮДЕНИЙ

Д.Ю. КРИВОНОГОВ, И.А. ЧИСТЯКОВ, Д.В. КАЛИТИН

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва

Ключевые слова и фразы: обучение с подкреплением (*Reinforcement Learning*, ***RL***); локальная навигация; симуляция; временные задержки; фазовый сдвиг.

Аннотация: В статье рассматривается проблема устойчивости систем автономной навигации мобильных роботов на основе обучения с подкреплением (*Reinforcement Learning*, *RL*) в условиях временных задержек в контуре управления. В отличие от детерминированных симуляторов, где информация о состоянии среды и робота обновляется мгновенно, реальные системы характеризуются неизбежными временными задержками возникающими, например, при передаче данных по интерфейсам. Нейросети, обученные без учета этого фактора, подвержены эффекту фазового сдвига, что приводит к дестабилизации траектории и росту числа столкновений. Цель работы – разработка метода компенсации временных задержек в *RL*-навигации посредством их явного моделирования в процессе обучения и расширения вектора наблюдений историей предыдущих состояний.

Задачи исследования включали моделирование временных задержек в цикле обучения, интеграцию истории наблюдений для компенсации фазового сдвига и тестирование устойчивости политики при задержках в наблюдениях до 200 мс. Гипотеза заключалась в том, что обучение политики с задержками и историей состояний позволит сети аппроксимировать текущее состояние среды и компенсировать фазовый сдвиг без усложнения архитектуры нейросети. Методы: предложен подход, включающий стохастическое моделирование задержек на каждом эпизоде обучения и конкатенацию векторов наблюдений и действий за последние H шагов. Эксперименты проводились в симуляционной среде *NVIDIA Isaac Sim* на платформе *ANYmal C* в сценариях навигации среди статических препятствий.

Результаты: показано, что предложенный метод позволяет сохранить успешность навигации на уровне 88 % при задержках до 200 мс, тогда как базовая политика деградирует до <20 % и демонстрирует критические осцилляции. Внедрение истории наблюдений длиной 10 шагов позволяет нейросети аппроксимировать текущее истинное состояние системы, опираясь не на запаздывающие мгновенные данные, а на динамику изменений, что эффективно компенсирует фазовый сдвиг и обеспечивает плавность траекторий, сопоставимую с режимом работы без задержек.

Введение

Проблема переноса политик обучения с подкреплением из симуляции на реальные роботизированные платформы (направление *Sim2Real*) остается одним из ключевых барьеров внедрения автономной навигации [1]. Если в первой части исследований основной фокус делается на оптимизации функции вознаграждения для сходимости в идеальной среде [2], то при развертывании на физическом носителе на первый план выходят временные задержки контура управления.

В отличие от детерминированных симуля-

торов, реальные системы характеризуются неизбежными задержками, возникающими при передаче данных по интерфейсам, обработке сенсорных сигналов и срабатывании приводов. Нейросети, обученные без учета этого фактора, подвержены эффекту фазового сдвига: управляющее воздействие формируется на основе устаревшего состояния среды, что приводит к дестабилизации траектории, осцилляциям и росту аварийности [3].

Существующие методы компенсации часто предполагают усложнение архитектуры сети: использование рекуррентных слоев *LSTM* или фильтров Калмана, что увеличивает вычислительную нагрузку и затрудняет работу на бортовых компьютерах с ограниченными ресурсами [4]. В данной работе предложен альтернативный подход, позволяющий компенсировать задержки без изменения архитектуры политики.

Формализация задачи и метод компенсации задержек

Задача навигации в условиях задержек описывается как частично наблюдаемый марковский процесс принятия решений (*Partially Observable Markov Decision Process*, ***POMDP***) [5] с запаздывающей обратной связью. Агент не имеет доступа к актуальному состоянию среды s_t, а оперирует наблюдением $o_{t-\delta}$, где δ – величина задержки. В экспериментах величина задержки варьировалась в диапазоне $\delta \in [0, 200]$ миллисекунд.

Стандартная политика $\pi_\theta(a_t \mid o_t)$, обученная в предположении $\delta = 0$, при внесении задержки начинает генерировать действия, не соответствующие текущей ситуации, что математически проявляется как рост дисперсии градиентов и нестабильность траектории. Для решения этой проблемы предлагается модифицированный подход, реализуемый через следующую последовательность шагов (рис. 1).

1. *Инициализация эпизода и семплирование домена.* В начале каждого эпизода k из априорного распределения $P(\xi)$ выбирается вектор параметров среды ξ_k, включающий величину задержки δ_k:

$$\delta_k \sim U(\delta_{min}, \delta_{max}),$$

где U – равномерное распределение.

Параметр δ_k фиксируется на весь эпизод, моделируя постоянную задержку конкретного аппаратного комплекса.

2. *Формирование расширенного наблюдения.* Для компенсации эффекта частичной наблюдаемости, усугубленного задержками δ_k, входной вектор формируется путем конкатенации истории наблюдений и истории исполненных действий за последние H шагов:

$$o_t^{aug} = concat(o_t, o_{t-1}, \ldots, o_{t-H}, a_{t-1}, a_{t-2}, \ldots, a_{t-H}),$$

где o_t^{aug} – расширенное состояние, включающее историю.

Такое представление позволяет нейросети явно отслеживать причинно-следственные связи между поданными командами и изменением состояния среды, неявно оценивать производные (скорость, ускорение) и экстраполировать текущее положение робота, компенсируя фазовый сдвиг.

3. *Генерация действия и применение задержки.* Агент формирует управляющее воздействие $a_t = \pi_\theta(o_t^{aug})$. Перед передачей в среду действие задерживается на время δ_k (моделирование вычислительной задержки и времени отклика приводов):

$$a_t^{exec} = a_{t-\delta_k},$$

где a_t^{exec} – исполненное действие, фактически поступившее в среду в момент t.

В отличие от a_t (текущая команда), a_t^{exec} является запаздывающим: среда отрабатывает решение, принятое δ_k миллисекунд назад. Это создает рассинхронизацию между наблюдением и воздействием, что и приводит к эффекту фазового сдвига.

4. *Физический шаг с рандомизированными параметрами.* Среда выполняет переход в следующее состояние s_{t+1} с использованием текущих физических параметров и задержанного действия.

5. *Добавление сенсорных шумов.* К истинному состоянию s_{t+1} добавляется аддитивный гауссовский шум $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ для имитации неидеальности реальных сенсоров. В результате нейросеть получает не идеальное состояние s_{t+1}, а его зашумленное наблюдение $o_t = s_{t+1} + \varepsilon$.

6. *Обновление буфера истории и обучение.* Полученное наблюдение o_t и действие a_t сохраняются в скользящее окно истории. Переход сохраняется в буфер воспроизведения для обнов-

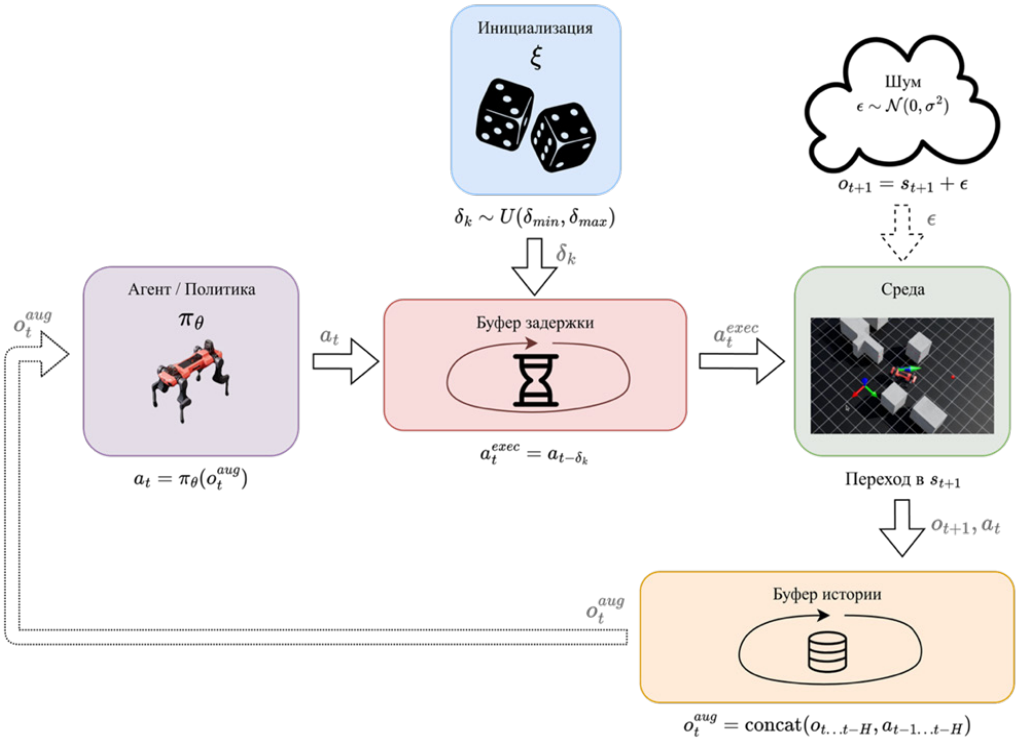


Рис. 1. Структурная схема цикла обучения с моделированием временных задержек и расширением пространства наблюдений

ления весов сети алгоритмом *PPO*.

Варьирование параметров δ в широких диапазонах заставляет политику искать стратегии, устойчивые ко всему спектру возможных реализаций задержек, что является основой успешного переноса *Sim*2*Real*.

Конфигурация эксперимента

Экспериментальная установка полностью соответствует базовой конфигурации, описанной в нашей предыдущей работе [2]. Вкратце: обучение проводилось в среде *NVIDIA Isaac Sim* на платформе *ANYmal C* с использованием 2*D*-лидара (36 лучей, дальность 10 м) в процедурно генерируемой среде со статическими препятствиями. Алгоритм *PPO* обучался со стандартными гиперпараметрами (128 параллельных сред, коэффициент темпа обучения: 10^{-4}), обеспечившими сходимость базовой политики.

Отличия текущего исследования

Ключевой особенностью данного эксперимента является введение модели временных задержек и расширенного пространства наблюдений. Таким образом, все различия в результатах между базовым подходом (*Baseline*) и предложенным методом (*Proposed*) обусловлены исключительно архитектурой обработки наблюдений и наличием моделирования задержек в цикле обучения.

Метрики оценки

Для сравнения базового и предложенного подходов использовались следующие метрики:

– доля успешных эпизодов – процент эпизодов, завершившихся достижением цели;

– плавность траектории – усредненное значение рывка (производной ускорения) центра масс базы робота на протяжении эпизода.

Результаты и обсуждение

Для оценки эффективности предложенного метода было проведено сравнительное тестирование двух конфигураций:

– *Baseline*: политика, обученная в идеальных условиях (δ = 0) без истории наблюдений.

– *Proposed*: политика, обученная с моделируемыми задержками и использованием истории наблюдений длиной 10 шагов ($H = 10$).

Устойчивость к временным задержкам

Тестирование проводилось в двух режимах:

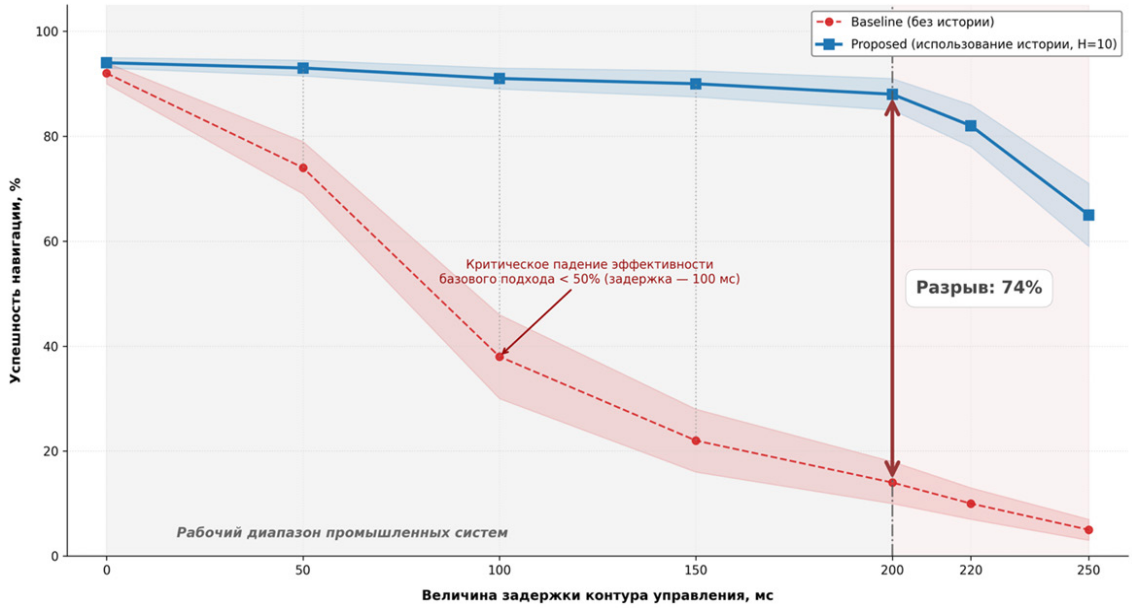


Рис. 2. Влияние задержек в наблюдениях на результаты навигации

Таблица 1. Сравнение метрик при задержке 200 мс

Конфигурация	Доля успешных эпизодов, %	Средний рывок, м/с³
Baseline (разреженная)	<20	4,8
Proposed (полная)	88	1,2

рабочий диапазон (задержки 0–200 мс, характерные для промышленных контроллеров) и стресс-тест (задержки 200–250 мс, экстремальные условия). Для каждого значения задержки было выполнено по 100 независимых эпизодов в процедурно генерируемых конфигурациях среды. Результаты (рис. 2) показали критическую зависимость базового подхода (*Baseline*) от величины задержки уже в рабочем диапазоне. При задержке 100 мс успешность навигации *Baseline* упала ниже 50 %, а при 200 мс составила менее 20 %. Анализ траекторий выявил характерные высокочастотные осцилляции угловой скорости, подтверждающие гипотезу о дестабилизирующем влиянии фазового сдвига.

Предложенная политика (*Proposed*) продемонстрировала высокую робастность в рабочем диапазоне. Успешность навигации оставалась на уровне 88 % даже при задержках до 200 мс. В режиме стресс-теста (200–250 мс) наблюдалось плавное снижение производительности: при 220 мс успешность составила 82 %, а ощутимый спад (<70 %) произошел только после 250 мс.

Это подтверждает, что метод имеет запас устойчивости, превышающий типовые требования промышленных систем, и деградирует предсказуемо, без катастрофических отказов.

Компенсация фазового сдвига

Внедрение истории наблюдений длиной 10 шагов позволило нейросети аппроксимировать текущее истинное состояние системы, опираясь не на запаздывающие мгновенные данные, а на динамику изменений.

Это эффективно компенсировало фазовый сдвиг и обеспечило плавность траекторий, сопоставимую с режимом работы без задержек. Среднее значение рывка при задержке 200 мс для *Proposed* составило 1,2 м/с^3, тогда как у *Baseline* этот показатель кратно выше из-за осцилляций в управлении (табл. 1).

Результаты подтверждают, что явное моделирование задержек в процессе обучения в сочетании с расширением пространства наблюдений позволяет создать политику, готовую

к работе в реальных условиях без необходимости использования сложных рекуррентных архитектур.

Заключение

В работе рассмотрена проблема компенсации временных задержек в системах *RL*-навигации мобильных роботов.

Предложен метод, основанный на явном моделировании задержек в цикле обучения и использовании истории наблюдений для аппроксимации текущего состояния среды.

Основные результаты.

1. Разработан алгоритм обучения, устойчивый к временным задержкам до 200 мс, что покрывает потребности большинства промышленных платформ.

2. Показано, что использование истории наблюдений длиной 10 шагов позволяет устранить эффект фазового сдвига, снизив долю столкновений с >80 % до 12 %.

3. Метод не требует усложнения архитектуры нейронной сети, сохраняя низкие вычислительные затраты, что критично для работы на бортовых вычислителях.

Литература

1. Ranaweera, M. Bridging the Reality Gap Between Virtual and Physical Environments Through Reinforcement Learning / M. Ranaweera, Q.H. Mahmoud // IEEE Access, 2023. – P. 19914–19927.

2. Чистяков, И.А. Оптимизация функции вознаграждения в обучении с подкреплением для повышения робастности локальной навигации мобильного робота на основе данных 2D-лидара / И.А. Чистяков, Д.Ю. Кривоногов, С.А. Воротников // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 3(198). – С. 102–107.

3. Sandha, S.S. Sim2Real Transfer for Deep Reinforcement Learning with Stochastic State Transition Delays / S.S. Sandha, L. Garcia, B. Balaji, F. Anwar, M. Srivastava // Proceedings of Machine Learning Research, 2021. – P. 1–12.

4. Alves Neto A. Reinforcement Learning for Control Systems with Time Delays: A Comprehensive Survey / A. Alves Neto // arXiv preprint. – 2026. – arXiv: 2602.00399 [Electronic resource]. – Access mode : https://arxiv.org/abs/2602.00399.

5. Kaelbling, L.P. Planning and Acting in Partially Observable Stochastic Domains / L.P. Kaelbling, M. Littman, A.R. Cassandra // Artificial Intelligence. – 1998. – No. 101. – P. 99–134.

References

2. CHistyakov, I.A. Optimizatsiya funktsii voznagrazhdeniya v obuchenii s podkrepleniem dlya povysheniya robastnosti lokalnoj navigatsii mobilnogo robota na osnove dannykh 2D-lidara / I.A. CHistyakov, D.YU. Krivonogov, S.A. Vorotnikov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 3(198). – S. 102–107.

© Д.Ю. Кривоногов, И.А. Чистяков, Д.В. Калитин, 2026

УДК 372.862

УЛУЧШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПО

А.П. НИКИШЕЧКИН, Д.С. РОДИОНОВ, А.С. ПЕТРОВИЧЕВА, Р.В. ПОЛЯК

ФГАОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва

Ключевые слова и фразы: искусственная нейронная сеть; машинное обучение; дидактическое программное обеспечение (**ПО**); визуализация; интерактивное обучение; обратное распространение ошибки; гиперпараметр; образовательные технологии.

Аннотация: Цель исследования – изучение методики применения специализированного программного обеспечения «НейроКонструктор» для формирования глубокого практического понимания принципов работы искусственных нейронных сетей (**ИНС**) у студентов инженерно-технических и ИТ-направлений. Программа призвана преодолеть характерный разрыв между теоретическим освоением сложных математических концепций машинного обучения и формированием интуиции об их практической реализации.

Задачи исследования включали: анализ типичных затруднений студентов при изучении архитектуры и динамики обучения ИНС; разработку методических подходов для преодоления характерных студентам когнитивных барьеров; реализацию поэтапного дидактического цикла (конфигурация архитектуры, управление гиперпараметрами обучения, валидация и анализ результатов); проектирование интерактивного интерфейса, реализующего принцип прямой визуальной обратной связи.

Гипотеза исследования предполагает, что оптимизация программных решений, исходя из желаний студентов улучшит эффективность процесса изучения материала.

Методы и материалы: разработка велась на основе методологии визуального экспериментального обучения. Интерфейс создан с использованием фреймворка *javafx*, что обеспечило высокую интерактивность и быстрый отклик визуализаций. Логика обучения нейронных сетей реализована на языке *Java*.

Результаты: создано рабочее программное обеспечение, представляющее собой целостную симуляционную среду. Ключевыми особенностями стали: динамическая визуализация архитектуры сети в реальном времени, модульный интерфейс, разделяющий этапы проектирования и обучения, а также детализированный вывод результатов, включающий график сходимости и поэлементный анализ предсказаний модели. Программа позволяет наглядно демонстрировать влияние глубины сети, функций активации, коэффициента обучения и других гиперпараметров на процесс оптимизации.

Практическая значимость: разработанное ПО «НейроКонструктор» готово к непосредственному внедрению в учебный процесс вузов в рамках дисциплин «Машинное обучение», «Нейронные сети» и «Искусственный интеллект». Оно позволяет перенести акцент с пассивного изучения формул на активное экспериментирование, способствуя более глубокому и осознанному усвоению материала. Программа может использоваться для проведения лабораторных работ и организации самостоятельной исследовательской работы студентов.

В наши дни, когда множество компаний ушли из России, как никогда остро встал вопрос об импортозамещении. Это довольно сильно коснулось и сферы ИТ. Ранее в Россий-

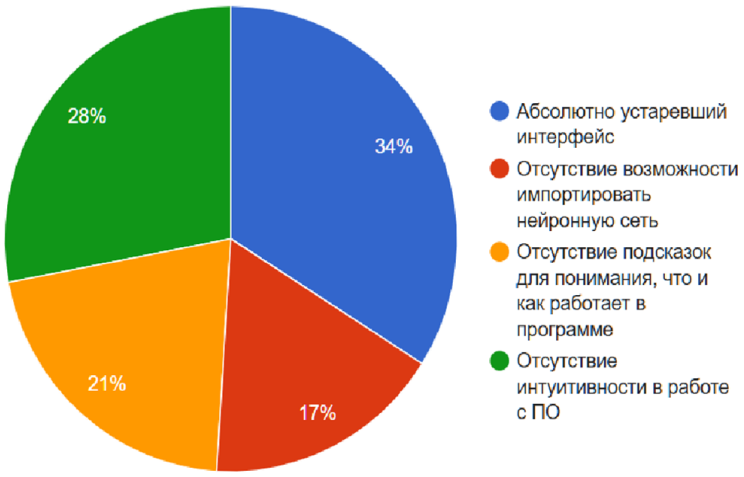


Рис. 1. Проблемы аналогов по мнению студентов

ских университетах широко использовалось ПО под названием *MatLab*. В данной программе был функционал для разработки и обучения нейросетей. И теперь, когда *MatLab* ушел из России, у студентов не осталось удобного современного ПО для обучения созданию нейронных сетей, кроме как писать их своими руками с помощью кода. Тем более во время использования нейроэмуляторов в процессе обучения студентов были выявлены многие проблемы. В качестве решения перечисленных недостатков проанализированы современные нейроэмуляторы и разработан *NeuroConstructor*.

NeuroConstructor – конструктор нейронных сетей. Это программа создана как для студентов, чтобы помочь им в обучении работы с нейросетями, так и для людей, которые разбираются в искусственных нейронных сетях (**ИНС**), для того чтобы они могли не писать код для нейронной сети, а заниматься проектированием и обучением, что значительно упростит их работу.

Для понимания, что студентам нужно от подобного программного обеспечения, были проведены лабораторные работы с программами-аналогами и выявлены их слабые и сильные стороны. После лабораторных работ 93 студента прошли опрос, в котором студентам было необходимо перечислить основные пункты, какими они были недовольны. В основном студенты жаловались на следующие моменты:

1) абсолютно устаревший интерфейс;

2) отсутствие возможности импортировать нейронную сеть;

3) отсутствие подсказок для понимания, что и как работает в программе;

4) отсутствие интуитивности в работе с программным обеспечением.

Результаты опроса студентов представлены на рис. 1.

1. Для решения проблемы «Отсутствие интуитивности в работе с ПО» нужно было добавить в интерфейс программы что-то, что наглядно отображало нейронную сеть и изменялось прямо в процессе трансформации самой нейронной сети. В целях борьбы с данной проблемой были приняты следующие решения:

а) добавить на экран создания нейросети поле, где в реальном времени будет отображаться та конфигурация нейронной сети, которую выбрал пользователь;

б) сделать данное поле интерактивным для того чтобы пользователь мог погрузиться отдельно в каждый слой или нейрон и увидеть, что находится внутри.

2. Для решения проблемы «Отсутствие подсказок для понимания, что и как работает в программе» нужно добавить что-то такое, что будет объяснять теоретическою информацию конкретно на ту тему, с которой у студента будет появляться вопрос. В целях борьбы с данной проблемой были приняты решения:

а) добавить кнопки-подсказки, которые будут объяснять работу тех или иных алгоритмов обучения нейронных сетей, распространения сигналов по нейросети и т.д.;

б) проводить повторные лабораторные работы для уточнения теоретических моментов, являющихся студентам непонятными или сложными. С дальнейшим добавлением новых кно-

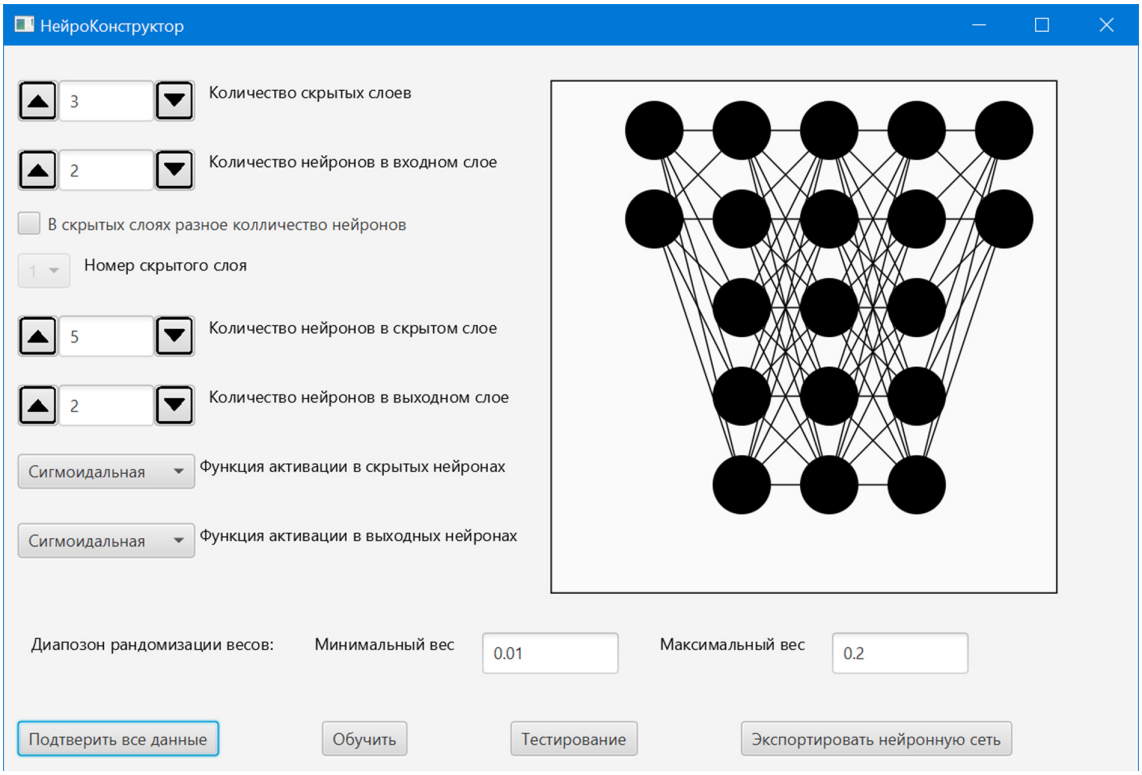


Рис. 2. Интерфейс главного экрана

пок-подсказок.

3. Для решения проблемы «Отсутствие возможности импортировать нейронную сеть» нужно добавить что-то, что обеспечит возможность экспорта нейронной сети в том или ином виде. В целях борьбы с данной проблемой были приняты следующие решения:

а) добавить возможность экспорта нейронной сети в виде программного кода;

б) добавить поддержку нескольких языков программирования для экспорта, что позволит использовать нейронную сеть в своих целевых проектах.

4. Для решения проблемы «Абсолютно устаревший интерфейс» нужно добавить что-то, что сделает процесс создания, обучения и тестирования нейросетей более прозрачным и простым для понимания. В целях борьбы с данной проблемой были приняты решения:

а) добавить на экран создания нейросети поле, где в реальном времени будет отображаться та конфигурация нейронной сети, которую выбрал пользователь.

б) добавить на экран обучения нейронной сети график, на котором будут видны изменения показателей в процессе обучения нейронных сетей.

Данные решения должны избавить ПО от основных проблем аналогов, с которыми сталкивались студенты, и положительно выделить программу-конструктор.

После выявления требований была разработана программа «НейроКонструктор», отвечающая основным требованиям и запросам студентов. В программе пользователь может выбрать нужную ему архитектуру, задать обучающую выборку и обучить нейронную сеть, не выходя из программы.

Для начала рассмотрим главный экран программы «НейроКонструктор» и детально изучим, как принятые решения были применены на практике. Главный экран программы представлен на рис. 2.

Структура и функциональные блоки интерфейса

Главный экран программы можно структурно разделить на три логических секции, обеспечивающих полный цикл конфигурации, обучения и валидации простой ИНС.

1. Секция конфигурации топологии сети (*Architecture Configuration*).

Данный блок является центральным для

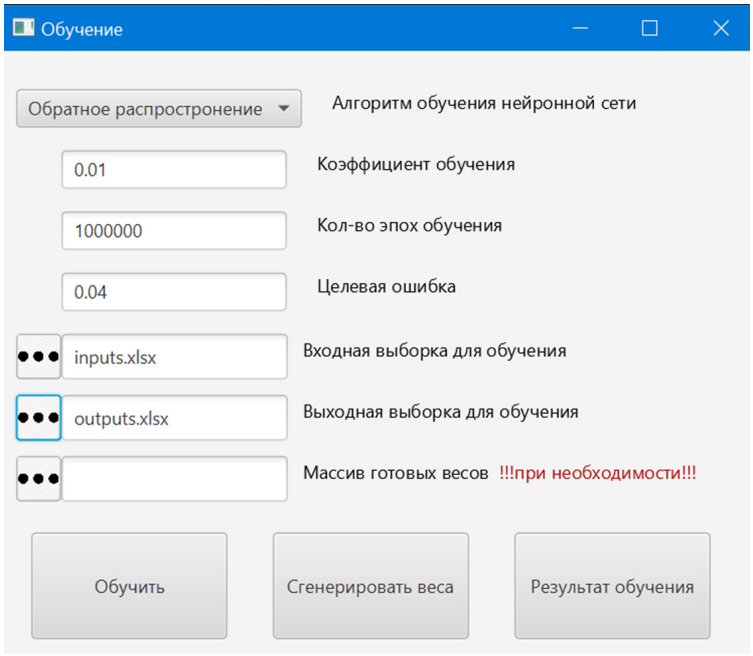


Рис. 3. Интерфейс экрана обучения

определения архитектуры модели.

- Выбор количества скрытых слоев [1].
- Расширенная настройка слоев.
- Количество нейронов входного и выходного слоев.
- Выбор функций активации [2].

2. Секция инициализации параметров (*Parameter Initialization*).

Блок «Диапазон рандомизации весов» с полями для минимального и максимального начального значения весов вводит пользователя в одну из ключевых тем успешного обучения – проблему инициализации. Это создает основу для экспериментов с исчезающими или взрывающимися градиентами.

3. Секция управления процессом обучения (*Training Control*).

Панель содержит кнопки для последовательного управления процессом.

- «Подтвердить все данные»: этап валидации введенной конфигурации [3].
- «Обучить»: непосредственный запуск алгоритма обучения.
- «Тестирование»: проверка обученной модели на тестовой выборке.
- «Экспортировать нейронную сеть»: функция сохранения готовой модели.

После создания архитектуры ИНС следующим этапом будет обучение нейронной сети. Рассмотрим экран обучения, представленный на рис. 3.

Структурно-функциональная организация экрана обучения

Экран обучения – целостный модуль, активируемый после настройки архитектуры, что разделяет процессы проектирования и оптимизации модели. Структура модуля включает три семантических блока.

1. Блок выбора алгоритма и гиперпараметров (*Optimization Core*). Фокусирует внимание на параметрах, определяющих сходимость.

- Алгоритм обучения: позволяет выбирать методы оптимизации (например, «Обратное распространение»), расширяя учебную программу.
- Коэффициент обучения (*Learning Rate*): прямое управление этим гиперпараметром дает эмпирический опыт наблюдения за скоростью сходимости и стабильностью системы.
- Эпохи и Целевая ошибка: критерии остановки формируют понимание компромисса между точностью и ресурсами, иллюстрируя концепцию «ранней остановки».

2. Блок загрузки данных и инициализации (*Data & Initialization*).

- Загрузка выборок: раздельные поля для входов и выходов (*inputs*/*outputs.xlsx*) визуально подчеркивают природу обучения с учителем.
- Загрузка готовых весов: позволяет дообучать модели, проводить тонкую настройку

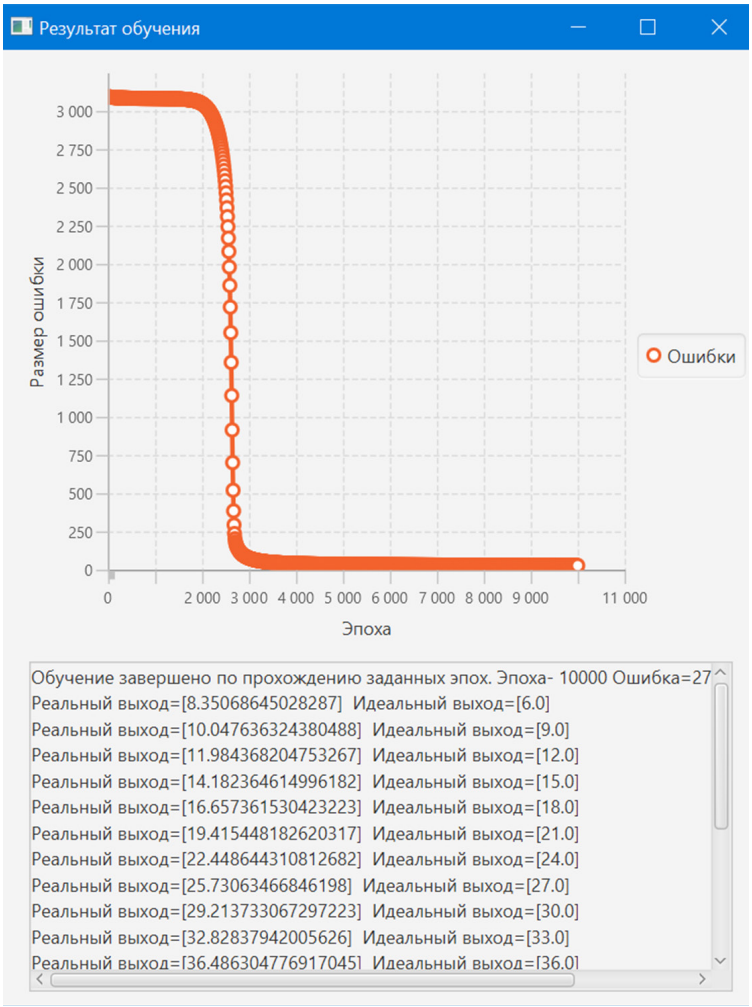


Рис. 4. Интерфейс экрана результатов обучения

(*fine-tuning*) и изучать влияние начальной инициализации на результат.

3. Блок управления и визуализации (*Process Control & Output*).

• Кнопки «Сгенерировать веса» и «Обучить»: разделяют этапы инициализации и запуска итерационного процесса, делая подготовку осознанной.

• Индикатор результата: визуализирует кривую обучения, обеспечивая обратную связь о сходимости, колебаниях или затухании градиента.

Дидактические преимущества и методологическая ценность

Интерфейс модуля обучения реализует ряд педагогических принципов.

1. Модульность и поэтапное усложнение. Выделение обучения в отдельный экран соответствует теории когнитивной нагрузки. Студент последовательно фокусируется сначала на архитектуре, затем – на динамике обучения, что предотвращает смешение понятий и снижает сложность освоения материала.

2. Формирование интуиции через гиперпараметры. Прямой контроль коэффициента обучения, эпох и ошибки трансформирует теорию в объект практики. Экспериментальное наблюдение (например, выявление расходимости при высоком *learning rate*) создает устойчивые причинно-следственные связи.

3. Акцент на итеративности процесса. Интерфейс визуально разделяет статичную настройку архитектуры и циклическое уточнение параметров. Это помогает осознать нейронную сеть как динамическую систему, обучаемую на данных.

4. Интеграция продвинутых концепций.

• Контроль переобучения: использование

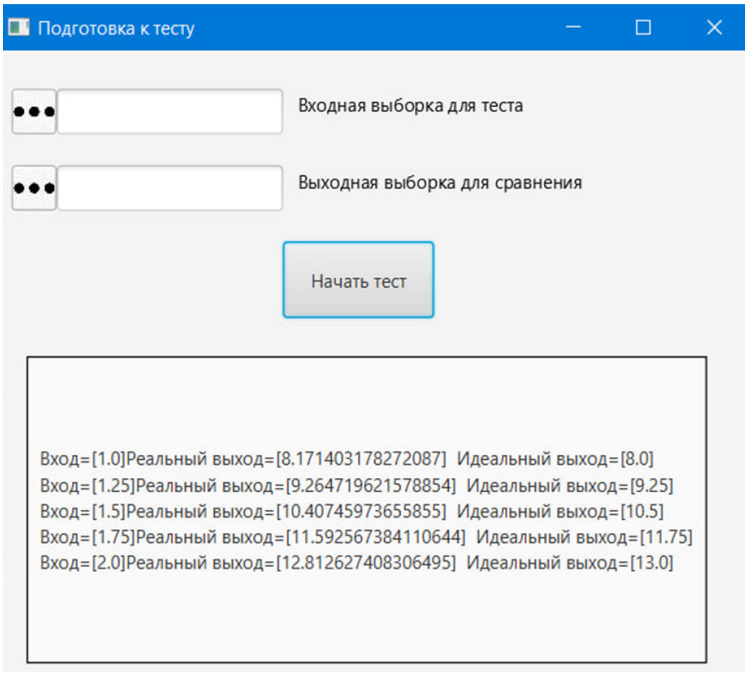


Рис. 5. Интерфейс экрана тестирования

целевой ошибки как критерия остановки обучает балансу между точностью и обобщающей способностью.

• *Transfer learning*: функция загрузки весов вводит понятия переноса обучения и тонкой настройки (*fine-tuning*).

5. Формирование профессионального мышления. Алгоритм «загрузка данных → настройка → обучение → анализ» воспроизводит реальный рабочий процесс специалиста по машинному обучению, формируя профессиональные компетенции на раннем этапе.

После завершения цикла обучения анализ эффективности модели проводится на экране результатов (рис. 4).

Структура и семантика представления данных

Экран результатов – инструмент ретроспективного анализа, разделенный на два блока: динамической визуализации и количественной оценки.

1. Блок динамической визуализации (*Process Dynamics*). Центральным элементом является график «Ошибка/Эпохи» (*learning curve*).

• Визуализация сходимости: график позволяет наблюдать траекторию снижения целевой функции, идентифицируя фазы быстрого спуска, плато или колебания. Это формирует понимание устойчивости алгоритма при заданных гиперпараметрах.

• Дидактика масштаба: подробная шкала осей приучает к точному чтению данных и пониманию абсолютных значений ошибки, меняющихся на несколько порядков.

2. Блок итоговой количественно-качественной оценки. Текстовая панель выполняет роль экспертного заключения.

• Интерпретация критерия остановки: констатация причины завершения процесса (по эпохам или ошибке) связывает результат с настройками пользователя.

• Финальные метрики: итоговые значения (например, Эпоха = 10000, Ошибка = 27) иллюстрируют концепции аппроксимации и локальных минимумов.

• Сравнительный анализ выходов: сопоставление реального и идеального значений (8,35 *vs* 6,0) переводит абстрактную ошибку в интерпретируемый пример, помогая диагностировать недообучение или переобучение.

2. Дидактическая эффективность и аналитические компетенции. Интерфейс решает задачи формирования инженерного мышления.

• Навык диагностики: анализ кривой позволяет выявлять *underfitting* (высокое плато), *overfitting* или неадекватность коэффициента обучения (осцилляции).

• Причинно-следственные связи: экран является финальным звеном цепочки «Архитектура – Параметры – Результат», позволяя проверить гипотезы о влиянии структуры сети на ее точность.

• Визуальная интерпретация: интерфейс материализует математику градиентного спуска в понятный тренд, делая скрытые процессы прозрачными для студента.

• Профессиональный стандарт: формат отчета и графиков соответствует промышленным платформам (*TensorBoard*, *MLflow*), адаптируя обучающегося к реальным практикам мониторинга моделей.

При удовлетворительных результатах осуществляется переход к экрану тестирования (рис. 5).

1. Структура и логика интерфейса валидации.

Экран представляет собой целенаправленный инструмент для перехода от обучения модели к оценке ее практической работоспособности. Его структура отражает стандартный пайплайн тестирования.

Разработанное программное обеспечение «НейроКонструктор» представляет собой целостный, методологически выверенный образовательный комплекс, который успешно трансформирует абстрактные теоретические принципы работы ИНС в наглядный и интерактивный практикум. Его ключевая ценность заключается в последовательной реализации парадигмы визуального экспериментального обучения, что позволяет эффективно преодолевать разрыв между формальными математическими описаниями и формированием глубокой практической интуиции у обучающихся.

Важнейшим достоинством программного продукта является его ориентированность на непосредственные потребности и запросы студенческой аудитории.

Разработка интерфейса и логики работы велась с явным учетом типичных трудностей, возникающих на начальном этапе изучения машинного обучения.

1. Запрос на наглядность и преодоление абстракции был удовлетворен через создание центрального динамического блока визуализации архитектуры и графиков обучения, где параметры и процессы обретают зримую форму.

2. Запрос на структурированность и управляемую сложность реализован в модульной архитектуре интерфейса, который поэтапно ведет пользователя от конфигурации модели к ее обучению, валидации и анализу, предотвращая когнитивную перегрузку.

3. Запрос на интеграцию теории и практики воплощен в системе контекстных подсказок («!»), предоставляющих теоретическое обоснование в момент принятия практического решения, и в режиме пошагового сравнения «Реального» и «Идеального» выходов.

Таким образом, «НейроКонструктор» является не просто симулятором, а полноценной средой, которая напрямую отвечает на образовательные вызовы.

Программа целенаправленно развивает у студентов системное аналитическое мышление, навыки критической интерпретации результатов – компетенции, составляющие основу исследовательской и инженерной работы в области искусственного интеллекта.

Литература/Refeences

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge, MA : MIT Press, 2016. – 800 p.

2. Hinton, G.E. Visualizing High-Dimensional Data Using t-SNE / G.E. Hinton, S. Roweis // Journal of Machine Learning Research. – 2008. – Vol. 9. – P. 2579–2605.

3. Karpathy, A., Johnson, J., Fei-Fei, L. Visualizing and Understanding Recurrent Networks / A. Karpathy, J. Johnson, L. Fei-Fei // arXiv preprint. – 2015. – [Электронный ресурс]. – URL: https://arxiv.org/abs/1506.02078 (дата обращения: 15.05.2024).

4. Ma, X., Zhang, Y. A Survey on Deep Learning Visualization Tools / X. Ma, Y. Zhang // Neurocomputing. – 2023. – Vol. 520. – P. 1–17.

5. Osipov, A.V. Methodology for using interactive simulators in studying the basics of artificial intelligence / A.V. Osipov // Computer Science and Education. – 2022. – No. 5. – P. 45–53.

6. Pavlov, S.M. Didactic aspects of designing software simulators for teaching machine learning / S.M. Pavlov, E L. Tikhonova // Open education. – 2021. – Vol. 25, No. 6. – Pp. 38–47.

7. Smilkov, D., Carter, S., Sculley, D., et al. Direct-Manipulation Visualization of Deep Networks

/ D. Smilkov, S. Carter, D. Sculley et al. // Proceedings of the IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST). – 2017. – P. 151–161.

8. Sokolov, I.V. Visualization as a tool for interpreting neural network decisions: a review of methods / I.V. Sokolov, K.A. Petrov // Proceedings of SPIIRAS. – 2020. – Vol. 19, No. 3. – P. 612–639.

9. Wong, S.C., Gatt, A., Stamatescu, V., et al. Understanding Data Augmentation for Classification: When to Warp? / S.C. Wong, A. Gatt, V. Stamatescu et al. // IEEE International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA). – 2016. – P. 1–6.

10. Zhang, J., Wang, H. Interactive Learning Environments for Neural Networks: A Design Framework / J. Zhang, H. Wang // Computers & Education: Artificial Intelligence. – 2023. – Vol. 4. – Art. 100136. – P. 1–10.

© А.П. Никишечкин, Д.С. Родионов, А.С. Петровичева, Р.В. Поляк, 2026

УДК 681.5:621.311:621.314.5

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

А.В. РУДЫХ

ФГАОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва

Ключевые слова и фразы: нагревательный элемент; тиристорный преобразователь; коэффициент мощности; энергосбережение.

Аннотация: Целью работы является разработка автоматизированных энергосберегающих методов и средств электронагревательными устройствами при помощи полупроводниковых силовых приборов. Для поставленной цели необходимо провести теоретические исследования энергетических характеристик электроустановки с использованием теоремы Умова – Пойнтинга (закон сохранения энергии в электромагнитном поле) и предложить решение, позволяющее устранить недостатки, возникающие при использовании широко распространенных силовых полупроводниковых приборов. Теоретические исследования опираются на фундаментальные законы электротехники. Представлены принципы управления активной мощностью электронагревательных установок и режимами работы осветительных установок, обеспечивающие энергосбережение. Исследованиями установлено, что причиной уменьшения энергетических характеристик в режимах управления тиристорными приборами является увеличение вектора плотности тока проводимости из-за снижения преобразователем вектора напряженности электрического поля $\bar{E}$ [1]. Замена силовых преобразователей напряжения на предложенные силовые преобразователи сопротивления позволит для автоматического управления электронагревательными устройствами снизить потребление электроэнергии на 20–40 % без оказания отрицательного влияния в режимах управления на показатели качества электроэнергии в питающих сетях.

Перед агропромышленным комплексом России стоят задачи по строительству новых и расширению существующих тепличных комбинатов и предприятий.

В овощеводческих культивационных сооружениях важным вопросом является правильный и наиболее целесообразный выбор способа обогрева воздуха и почвы, использование интенсивного дополнительного облучения растений, замена ручной обработки почвы машинной.

Наиболее простым и доступным видом обогрева в холодных климатических зонах России является электрический, так как ни один другой вид обогрева не может обеспечить такой точности поддержания и контроля заданной температуры, как это достигается при помощи электричества. С внедрением новых мобильных электрифицированных агрегатов в тепличных хозяйствах снижается себестоимость овощей, увеличивается производительность труда.

Для электрообогрева наиболее целесообразно применять устройства, реализующие косвенный нагрев сопротивлением.

Из всех способов электрического обогрева почвы и воздуха в сооружениях закрытого грунта наиболее простым, надежным и перспективным является элементный обогрев. Данный способ легко поддается автоматизации, что, в свою очередь, способствует значительному энергосбережению.

Проблемы энергосбережения при ведении электрифицированных технологических процессов всегда актуальны, так как энергоноситель – электрическая энергия с многочисленными преимуществами перед другими носителями энергии является для человеческого общества

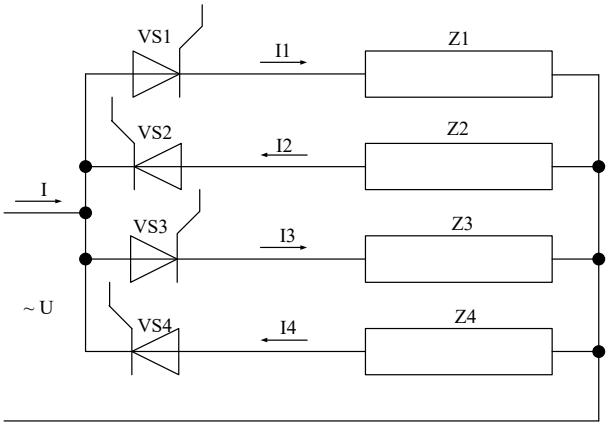


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная тиристорного преобразователя сопротивления

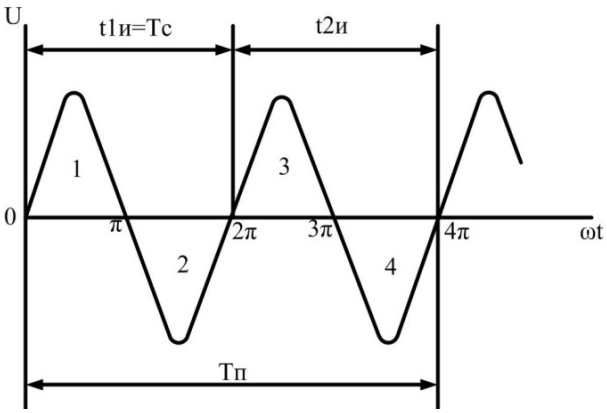


Рис. 2. Временная диаграмма напряжения и время соединения нагревателей с электрической сетью

ценным и достаточно дорогим товаром. Широко применяемые тиристорные регуляторы напряжения позволяют точно выполнять требования тепловых технологических процессов [2] и в то же время оказывают ряд негативных последствий за счет неиспользованного напряжения [3; 4]. При применении тиристорных преобразователей сопротивления для управления электрифицированными технологическими установками действующий ток можно снизить до 50 % за счет эффективного использования напряжения сети [1; 5].

Для бесконтактного управления мощностью электрических нагревателей предлагается использовать силовые полупроводниковые (тиристорные) преобразователи сопротивления (рис. 1), которые отличаются от широко используемых силовых преобразователей напряжения тем, что в режимах управления они практически не оказывают негативного влияния на качество электрической энергии в сети.

На рис. 2 представлена диаграмма, поясняющая работу электроустановки (электронагреватель – тиристор) в режиме управления за два периода.

Из рис. 2 видно, что за период повторения Тп нагревательные элементы во времени соединены последовательно, а в номинальном режиме нагревательные элементы соединяются во времени параллельно к источнику питания.

При использовании тиристорных преобразователей полная мощность нагрузки *S*вых и мощность на входе электроустановки *S*вх отличаются друг от друга на величину потерь в самом преобразователе.

Если для управления тепловыми технологическими процессами используется преобразовательная техника, то вектор напряженности электрического поля определяется в зависимости от проводящего или запертого состояния тиристоров [5]:

$$\overline{E} = \overline{E}_{\text{П}} + \overline{E}_{\text{И}}, \tag{1}$$

где $\overline{E}_{\text{П}}$ – вектор напряженности электрического поля во время запертого состояния тиристора; $\overline{E}_{\text{И}}$ – вектор напряженности электрического поля во время проводящего состояния тиристора.

Для проводящего и запертого состояния тиристоров баланс мощности, согласно теореме Умова – Пойнтинга, можно записать:

$$\int_V \overline{\delta}\left(\overline{E} - \overline{E}_{\text{П}}\right) dV = \int_V \overline{\delta}\overline{E}_{\text{И}}\, dV + \int_V \left(\overline{H}\frac{\partial \overline{B}}{\partial t_{\text{И}}} + \overline{E}_{\text{И}}\frac{\partial \overline{D}}{\partial t_{\text{И}}} \right) dV, \tag{2}$$

где $\overline{\delta}$ – вектор плотности тока проводимости; $t_{\text{И}}$ – время, когда тиристоры находятся в проводящем состоянии; $\overline{H}$, $\overline{E}_{\text{И}}$ – вектор напряженности магнитного и электрического поля.

Анализ уравнения (2) позволяет установить главные причины отрицательных последствий работы современной преобразовательной техники, которая широко применяется в различных сферах человеческой деятельности, и определить перспективные направления ресурсо-

Таблица 1. Электрические величины, характеризующие электроустановку в номинальном режиме и в режимах управления

№ п/п	I, A	U, B	$S_{вх}$, кВА	P, кВт	Q, кВАр	$S_{вых}$, кВА	ΔS, кВА	$K_{п}$, о.е.	$K_{н}$, о.е.	λ, о.е.	Знач.
1	54,06	202	11,5	8,4	7,8	115	0,0	1,0	0,73	0,73	Расч.
	57,0	202	11,5	8,4	7,8	11,5	0,0	1,0	0,73	0,73	Эксп.
2	45,5	213	9,71	6,8	5,7	8,86	3,1	0,9	0,77	0,70	Расч.
	43,5	209	9,09	6,3	5,8	8,6	3,0	0,9	0,73	0,69	Эксп.
3	31,1	223	6,95	5,2	4,0	6,6	0,0	1,0	0,80	0,80	Расч.
	33,0	212	6,99	5,5	4,1	6,9	0,0	1,0	0,80	0,80	Эксп.
4	21,8	232	5,05	2,6	2,0	3,2	3,9	0,6	0,79	0,51	Расч.
	24,0	220	5,28	2,7	2,1	3,4	4,0	0,6	0,79	0,51	Эксп.

сбережения в ходе управления электрифицированными технологическими процессами или в процессе преобразования параметров электрической энергии.

Фундаментальная электротехника позволила нам критически относится к энергетическим характеристикам в электрических цепях с полупроводниковыми преобразователями, которые получены к настоящему времени, и разрабатывать новые энергетические характеристики.

Если в математической модели, которая применяется в России и за рубежом в науке, в учебном процессе и на практике основное внимание обращено на смещение во времени первой гармоники тока относительно первой гармоники напряжения питающей сети и на нелинейные искажения тока преобразователем, то мы на основе анализа теоремы Умова – Пойнтинга разработали новую модель энергетических процессов в электрических цепях с полупроводниковыми преобразователями [6].

Новые энергетические характеристики соответствуют закономерностям и понятиям фундаментальной электротехники. Ряд технологических процессов выполняется в условиях ограничения отдельных параметров электрической энергии. Нами разработаны так называемые тиристорные преобразователи сопротивления для управления мощностью электротермических установок различного назначения. В табл. 1 представлены данные расчетные и экспериментальные для тиристорного преобразователя напряжения (режим 2, 4) и тиристорного преобразователя сопротивления (режим 3).

С помощью тиристорных преобразователей сопротивления напряженность электрического поля внешних источников энергии распределяется по отдельным потребителям электрической энергии, а плотность тока проводимости получается минимально необходимой для выполнения каждого технологического процесса. Действующий ток на входе экспериментальных установок в режимах управления снижается в 2–3 раза и более по сравнению с аналогами.

Разработанные преобразователи [7] позволяют отказаться от устройств компенсации реактивной мощности. При работе преобразователей нелинейные искажения напряжения и тока исключаются или значительно меньше, чем при работе аналогов, что позволяет отказаться от применения фильтров.

Необходимо отметить, что имеются технические решения, которые позволяют повышать коэффициент мощности нагрузки Кн с помощью преобразователей и тем самым улучшать энергетические характеристики электроустановок с преобразователями в целом.

Литература

1. Рудых, А.В. Возможность управления электрическим обогревом с помощью преобразователей сопротивления / А.В. Рудых, В.В. Боннет // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Материалы VIII международной научно-практической конференции, 2019. – С. 51–56.

2. Klimash, V.S. Generalized Mathematical Description and Simulation of Grid-Tied Thyristor Converters / V.S. Klimash, Ye Min Thu // World Academy of Science, Engineering and Technology

International Journal of Energy and Power Engineering. – 2017. – Vol. 11. – No.11. – P. 1135–1142.

3. Jalili, K. Behavior of PWM Active Front Ends in the Presence of Parallel Thyristor Converters / K. Jalili, N. Weitendorf, S. Berne // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2008. – Vol. 55. – Iss. 3. – P. 1035–1046.

4. Judge, P.D. Thyristor/Diode-Bypassed Submodule Power Groups for Improved Efficiency in Modular Multilevel Converters / P.D. Judge, M.M.C. Merlin, T.C. Green, D.R. Trainer // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2018. – Vol. 35. – Iss. 1. – P. 84–94.

5. Алексеева, Т.Л. Энергетическая эффективность в электрических цепях с полупроводниковыми приборами / Т.Л. Алексеева, Н.Л. Рябченок, Л.А. Астраханцев, В.А. Тихомиров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2020. – Т. 20. – № 2. – С. 89–98.

6. Vobecky, J. The Bidirectional Phase Control Thyristor / J. Vobecky // IEEE Transactions on Electron Devices. – 2020. – Vol. 67. – Iss. 7. – P. 2844–2849.

7. Патент 2367082 Российская федерация, МПК H20M 7/19. Способ регулирования напряжения и устройство трехфазного выпрямителя / А.В. Рудых, Т.Л. Алексеева, Н.Л. Рябченок, Н.М. Астраханцева, А.И. Орленко, К.П. Рябченок, М.Е. Алексеев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ИрГУПС. – № 2008103618/09; заявл.29.01.2008; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 25. – 8 с.

References

1. Rudykh, A.V. Vozmozhnost upravleniya elektricheskim obogrevom s pomoshchyu preobrazovatelej soprotivleniya / A.V. Rudykh, V.V. Bonnet // Klimat, ekologiya, selskoe khozyajstvo Evrazii. Materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, 2019. – S. 51–56.

5. Alekseeva, T.L. Energeticheskaya effektivnost v elektricheskikh tsepyakh s poluprovodnikovymi priborami / T.L. Alekseeva, N.L. Ryabchenok, L.A. Astrakhantsev, V.A. Tikhomirov // Vestnik YUzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. – 2020. – T. 20. – № 2. – S. 89–98.

7. Patent 2367082 Rossijskaya federatsiya, MPK N20M 7/19. Sposob regulirovaniya napryazheniya i ustrojstvo trekhfaznogo vypryamitelya / A.V. Rudykh, T.L. Alekseeva, N.L. Ryabchenok, N.M. Astrakhantseva, A.I. Orlenko, K.P. Ryabchenok, M.E. Alekseev; zayavitel i patentoobladatel GOU VPO IrGUPS. – № 2008103618/09; zayavl.29.01.2008; opubl. 10.09.2009, Byul. № 25. – 8 s.

© А.В. Рудых, 2026

УДК 004.77:37.018.43

АВТОНОМНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА К ИНТЕРНЕТУ

А.П. САЛОМАТИН, В.Д. ГАСКАРОВ, Ю.Ф. КАТОРИН

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: автономное обучение; дистанционное образование; искусственный интеллект; *MoodleBox*; *Raspberry Pi*; цифровое неравенство.

Аннотация: В статье рассматриваются технологии, обеспечивающие доступ к образовательным материалам без постоянного подключения к интернету. Целью исследования является обоснование возможности построения и развития автономных систем дистанционного обучения для регионов и сфер деятельности с ограниченным доступом к сети, в том числе в контексте морского и речного флота. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи: провести систематический обзор современных решений на базе одноплатных компьютеров *Raspberry Pi* и платформы *MoodleBox*; выявить их ключевые преимущества и ограничения по результатам практических внедрений; определить направления применения искусственного интеллекта (**ИИ**) для автоматизации управления устройствами и персонализации образовательного процесса. Гипотеза исследования состоит в том, что интеграция методов ИИ с автономными *LMS*-решениями способна существенно смягчить выявленные ограничения и одновременно обеспечить персонализацию образовательной траектории учащегося. В качестве методов использованы сравнительный анализ научных публикаций и практических кейсов внедрения, обобщение и классификация технических и педагогических ограничений, а также проектный анализ потенциальных функций ИИ применительно к автономным *LMS*. Полученные результаты включают: систематизированный обзор практических внедрений *MoodleBox* в различных условиях; классификацию преимуществ и ограничений автономных систем; обоснование двухконтурной модели применения ИИ – на техническом уровне и на педагогическом уровне; рекомендации по масштабированию таких систем для образовательных учреждений.

Дистанционное обучение стало неотъемлемой частью образовательной экосистемы, особенно в условиях пандемии *COVID*-19 [1; 2]. В условиях информационного общества цифровые технологии существенно трансформируют образовательный процесс, открывая новые возможности для подготовки электронных учебников, тестирующих комплексов и баз знаний [3]. Параллельно возрастают требования к профессиональной компетентности педагога, который должен соответствовать вызовам модернизации высшего образования и эффективно работать в цифровой среде [4; 5]. Развитие профессионально-личностных качеств преподавателей и психолого-педагогическое сопровождение их становления рассматриваются как ключевые факторы повышения эффективности образования в системе непрерывного обучения [6; 7].

Тем не менее доступ к качественному обучению остается проблемой для миллионов людей, проживающих в удаленных регионах или работающих в условиях, где стабильное интернет-соединение отсутствует, – на морских судах [8–10], вахтовых площадках и в труднодоступных населенных пунктах [11; 12]. Особенно остро эта проблема стоит для ведомственных образовательных организаций, осуществляющих подготовку кадров в специфических усло-

виях [13]. Преобладание интернет-зависимых *LMS*-систем усугубляет цифровое неравенство [14] и ограничивает возможности оптимизации образовательного процесса с использованием современных информационных технологий [3].

Одним из возможных решений является использование автономных систем, таких как *MoodleBox*, развернутых на недорогих устройствах, к которым относятся, например, одноплатные компьютеры *Raspberry Pi* [11; 12; 15; 16]. Подобные решения позволяют обеспечить непрерывность образовательного процесса вне зависимости от наличия интернет-соединения, что особенно важно как для базовой подготовки, так и для повышения квалификации педагогических кадров [6; 7]. Настоящая работа посвящена анализу современных исследований, направленных на создание и развитие таких решений, а также перспективам повышения их эффективности с помощью искусственного интеллекта.

Обозначенные проблемы цифрового неравенства и ограниченного доступа к *LMS*-системам в условиях нестабильного интернет-соединения требуют конкретных архитектурных решений. Одним из наиболее проработанных и экономически эффективных подходов на сегодняшний день является развертывание автономного образовательного сервера. В рамках данной работы рассматривается архитектура, основанная на программно-аппаратном комплексе *MoodleBox*. *MoodleBox* представляет собой автономную *LMS*, развернутую на базе одноплатного компьютера *Raspberry Pi* и интегрирующую полнофункциональную систему управления обучением *Moodle* с беспроводной точкой доступа [11]. Проект, инициированный во французском *Moodle*-сообществе и развиваемый с 2016 г. под открытой лицензией *AGPLv*3, на сегодняшний день поддерживает актуальные версии *Moodle* 4.*x* и 5.*x* [11; 17]. Программный стек включает *Linux* (*Raspberry Pi OS*), *Nginx*, *MariaDB* и *PHP-FPM*, что обеспечивает компактный «след» в памяти и предсказуемую производительность даже на устройствах с 1–4 ГБ ОЗУ. Принцип функционирования системы состоит в следующем. Устройство создает собственную локальную *Wi-Fi*-сеть (с настраиваемым *SSID*, каналом и параметрами безопасности *WPA*2), к которой подключаются смартфоны, планшеты и ноутбуки обучающихся. Через эту сеть студенты получают доступ к курсам, образовательным материалам, тестам, заданиям, форумам и иным учебным активностям, реализуемым средствами *Moodle*. Все данные – учетные записи, прогресс обучающихся, результаты тестирований, загруженные работы – сохраняются непосредственно в локальной памяти устройства, что исключает зависимость от внешних серверов и облачных сервисов. В случае наличия *Ethernet*-подключения *MoodleBox* дополнительно может выполнять функцию шлюза, предоставляя интернет-доступ подключенным устройствам [11; 17]. К очевидным преимуществам данной архитектуры относятся: низкая совокупная стоимость владения (комплект оборудования обходится приблизительно в 100 долларов США [11]), компактность и мобильность, минимальное энергопотребление, простота тиражирования (образ системы разворачивается путем записи в локальной памяти компьютера), а также возможность развертывания в локациях, где традиционная сетевая инфраструктура отсутствует или нестабильна.

Существенно и то, что весь спектр педагогических возможностей *Moodle* – от тестов с автоматической проверкой до организации проектной деятельности – доступен в полном объеме без подключения к глобальной сети. Вместе с тем архитектура имеет и ряд объективных ограничений. Во-первых, система зависит от стабильного электроснабжения, что особенно критично в полевых и удаленных условиях; частичным решением выступает использование модулей бесперебойного питания (например, *PiJuice*) или внешних аккумуляторов. Во-вторых, актуализация образовательного контента и резервное копирование данных требуют периодической синхронизации с внешним сервером, что предполагает хотя бы эпизодический доступ к интернету, частично может быть решено с использованием локально развернутых *LLM*-моделей. В-третьих, серьезным узким местом выступает ограниченное число одновременных *Wi-Fi*-подключений: встроенный беспроводной модуль *Raspberry Pi* по умолчанию поддерживает лишь 6–8 клиентов одновременно, и даже при использовании альтернативной прошивки этот предел расширяется лишь до 19 устройств [18]. Эмпирические исследования показывают, что на *Raspberry Pi* 4 (4 ГБ ОЗУ) *Moodle* устойчиво обслуживает курсы среднего объема с 25–30 одновременными пользователями [17; 19], что позволяет покрывать типовую учебную группу, но недостаточно

для масштабирования на поток или несколько групп без внешней точки доступа. Наконец, *SD*-карта как основной носитель данных имеет ограниченный ресурс циклов записи и подвержена повреждениям при некорректном отключении питания, что предъявляет повышенные требования к эксплуатационным процедурам. Несмотря на перечисленные ограничения, практическая жизнеспособность концепции автономной *LMS* на базе *Raspberry Pi* неоднократно подтверждена в реальных образовательных контекстах. В работе [6] продемонстрирована применимость *MoodleBox* для обучения беженцев, при этом авторы зафиксировали проблему нестабильного электроснабжения. *S.H. Maro* и соавторы [9] подтвердили эффективность решения для повышения квалификации учителей в Танзании, выделив в качестве ключевого затруднения синхронизацию данных между распределенными узлами. *O.W. Purbo* и *A. Susilo* [7] разработали систему *Utak-Akses* для индонезийских студентов, продемонстрировав высокую педагогическую результативность при минимальных инфраструктурных затратах. *A.M.A. Al-Muqarm* и соавторы [9] подтвердили работоспособность *MoodleBox* в школах, расположенных в зонах вооруженных конфликтов, где традиционная интернет-инфраструктура отсутствует. В работах [3; 4; 5] предложен программный пакет для судоводителей, не требующий интернет-подключения и используемый, в том числе, для учебных целей. Совокупность этих кейсов охватывает широкий спектр контекстов – от образования в условиях гуманитарного кризиса до профессиональной подготовки в труднодоступных производственных средах – и убедительно свидетельствует о том, что архитектура *MoodleBox* представляет собой не лабораторный концепт, а зрелое прикладное решение.

К ограничениям относятся: зависимость от электроснабжения, необходимость периодической синхронизации с интернетом и ограниченное количество одновременных подключений [6; 9; 10]. Выявленные ограничения могут быть существенно смягчены за счет внедрения ИИ, применение которого способно преобразовать функционирование таких систем сразу в двух плоскостях – технической, связанной с управлением устройствами и данными, и педагогической, связанной с индивидуализацией образовательной траектории каждого учащегося, в частности, с получением данных с помощью генеративного ИИ.

При автоматизации управления устройствами ИИ может: анализировать паттерны подключения студентов к интернету и заблаговременно подготавливать пакеты данных, снижая нагрузку на сеть; диагностировать заряд батареи, целостности файлов и статуса синхронизации с автоматическим уведомлением техподдержки; определять устаревшие курсы и загружать обновления без ручного вмешательства; осуществлять планирование синхронизации во время минимальной загрузки сети.

Для персонализации обучения ИИ формирует индивидуальный план на основе анализа успеваемости и поведения студента, корректирует сложность заданий после каждого ответа для точной оценки уровня знаний.

С помощью машинного обучения предлагает материалы, закрывающие пробелы в знаниях. *NLP*-алгоритмы анализируют ответы студентов и генерируют персонализированные рекомендации. Модели машинного обучения выявляют студентов из группы риска для своевременной поддержки. Чат-боты на основе *NLP* могут использоваться для круглосуточной поддержки студентов.

Проведенный обзор показал, что автономные системы на базе *MoodleBox* и *Raspberry Pi* уже демонстрируют высокую эффективность для дистанционного обучения в условиях отсутствия или ограниченного доступа к интернету.

Вместе с этим выявлены существенные ограничения: зависимость от электроснабжения, необходимость периодической синхронизации и ограниченная пропускная способность. Применение ИИ способно смягчить часть ограничений за счет предсказательной синхронизации, автоматического мониторинга и централизованного управления, а также открыть возможности для персонализации обучения.

Внедрение данных технологий позволит образовательным учреждениям, в том числе университетам морского и речного флота, масштабировать системы дистанционного обучения для студентов, работающих в условиях ограниченной связи.

Литература

1. Singal, A. Anatomy Education of Medical and Dental Students During COVID-19 Pandemic: A Reality Check / A. Singal, A. Bansal, P. Chaudhary, H. Singh // Surgical and Radiologic Anatomy. – 2021. – Vol. 43. – P. 515–521.

2. Reimers, F.M. Learning from a Pandemic. The Impact of COVID-19 on Education Around the World / F.M. Reimers. – Cham : Springer, 2022.

3. Дрига Е.С. Оптимизация образовательного процесса с использованием информационных технологий / Е.С. Дрига // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2009. – № 2(2). – С. 5–8.

4. Володькин, Е.А. Профессиональная компетентность педагога в условиях модернизации высшего профессионального образования / Е.А. Володькин // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2010. – № 8(10). – С. 15–16.

5. Стародубцев, М.П. Профессионально-личностное развитие педагога физической культуры: научно-теоретический аспект / М.П. Стародубцев, Т.А. Иваненко, Т.В. Сапсаева, И.О. Перелогов, Н.Е. Винтовкина // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2018. – № 5(104). – С. 102–107.

6. Стародубцев, М.П. Сопровождение профессионального становления кадров высшей квалификации в системе непрерывного образования / М.П. Стародубцев, А.В. Зюкин // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2018. – № 10(109). – С. 247–252.

7. Gallagher, M. Refugee Higher Education and Future Reconstruction Efforts / M. Gallagher, C. Bauer // Comparative Education. – 2021. – Vol. 22(1). – P. 39–57.

8. Сибилев, В.А. Тенденции развития вычислительных средств навигации по небесным светилам / В.А. Сибилев, С.В. Козик, Г.О. Алцыбеев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14. – № 4. – С. 535–545.

9. Alcybeev, G. Software Package for Nautical Astronomy / G. Alcybeev, O. Alcybeev, V. Sibilev // The Journal of Navigation. – 2025. – Vol. 78. – No. 2–3. – P. 305–319.

10. Alcybeev, G.O. Trends in the Development of Navigation Aids by the Sky Origins / G.O. Alcybeev, V.A. Sibilev, S.V. Kozik // AIP Conference Proceedings. – 2024. – Vol. 3021. – No. 1. – P. 060039.

11. Козик, С.В. Концепция навигационного прибора «Электронный секстан» / С.В. Козик, В.А. Сибилев, Г.О. Алцыбеев // Морской вестник. – 2020. – № 4(76). – С. 116–118.

12. Сибилев, В.А. Система обеспечения навигационной безопасности плавания / В.А. Сибилев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 3. – С. 16–24.

13. Purbo, O.W. UTAKSES: Offline Server Design for Students in Internet-Limited Areas / O.W. Purbo, A. Susilo // Open and Distance Learning Conference, 2022.

14. Maro, S.H. Deploying Technology Enhanced School-Based Teacher Continuous Professional Development in Tanzania / S.H. Maro, A.W. Kondoro, J.S. Mtebe et al. // International Review of Research in Open and Distributed Learning, 2024.

15. Кириллова, Т.В. О совершенствовании деятельности образовательных организаций ФСИН России / Т.В. Кириллова, М.И. Кузнецов // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2019. – № 4(115). – С. 207–209.

16. Fernández-Gutiérrez, M. Is the Use of ICT in Education Leading to Higher Student Outcomes? Analysis from the Spanish Autonomous Communities / M. Fernández-Gutiérrez, G. Gimenez, J. Calero // Computers & Education. – 2020. – Vol. 157. – P. 103969.

17. Al-Muqarm, A.M.A. Low-Cost Smart Learning with MoodleBox in Conflict Areas / A.M.A. Al-Muqarm, Y. Mudhafar, A.M. Shakir // IEEE Conference, 2023.

18. Martignoni, N. MoodleBox: A Moodle platform on Raspberry Pi / N. Martignoni [Electronic resource]. – Access mode : https://moodlebox.net/en.

19. Dhuny, R. Home-Hosting A Learning Management System Using Raspberry Pi / R. Dhuny // EduCreate (Medium), 2024 [Electronic resource]. – Access mode : https://medium.com/educreation/home-hosting-a-learning-management- system-using-raspberry-pi-0720c549b4ad.

20. Access a Raspberry Pi with a Large Number of Devices // Raspberry Pi Forums, 2023 [Electronic resource]. – Access mode : https://forums.raspberrypi.com/viewtopic.php?t=349490.

References

3. Driga E.S. Optimizatsiya obrazovatelnogo protsessa s ispolzovaniem informatsionnykh tekhnologij / E.S. Driga // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2009. – № 2(2). – S. 5–8.

4. Volodkin, E.A. Professionalnaya kompetentnost pedagoga v usloviyakh modernizatsii vysshego professionalnogo obrazovaniya / E.A. Volodkin // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2010. – № 8(10). – S. 15–16.

5. Starodubtsev, M.P. Professionalno-lichnostnoe razvitie pedagoga fizicheskoj kultury: nauchno-teoreticheskij aspekt / M.P. Starodubtsev, T.A. Ivanenko, T.V. Sapsaeva, I.O. Perelogov, N.E. Vintovkina // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2018. – № 5(104). – S. 102–107.

6. Starodubtsev, M.P. Soprovozhdenie professionalnogo stanovleniya kadrov vysshej kvalifikatsii v sisteme nepreryvnogo obrazovaniya / M.P. Starodubtsev, A.V. Zyukin // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2018. – № 10(109). – S. 247–252.

8. Sibilev, V.A. Tendentsii razvitiya vychislitelnykh sredstv navigatsii po nebesnym svetilam / V.A. Sibilev, S.V. Kozik, G.O. Altsybeev // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. – 2022. – T. 14. – № 4. – S. 535–545.

11. Kozik, S.V. Kontseptsiya navigatsionnogo pribora «Elektronnij sekstan» / S.V. Kozik, V.A. Sibilev, G.O. Altsybeev // Morskoj vestnik. – 2020. – № 4(76). – S. 116–118.

12. Sibilev, V.A. Sistema obespecheniya navigatsionnoj bezopasnosti plavaniya / V.A. Sibilev // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2022. – № 3. – S. 16–24.

15. Kirillova, T.V. O sovershenstvovanii deyatelnosti obrazovatelnykh organizatsij FSIN Rossii / T.V. Kirillova, M.I. Kuznetsov // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2019. – № 4(115). – S. 207–209.

© А.П. Саломатин, В.Д. Гаскаров, Ю.Ф. Каторин, 2026

УДК 004.8:004.89

СИМБИОТИЧЕСКИЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ОТ ДИХОТОМИИ «БОЖЕСТВО – РАБ» К АРХИТЕКТУРЕ ПАРТНЕРСТВА НА ПРИНЦИПАХ ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКОГО СМИРЕНИЯ

А.П. САЛОМАТИН, В.Д. ГАСКАРОВ, Ю.Ф. КАТОРИН

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: искусственный интеллект; симбиоз; взаимодействие между людьми и искусственным интеллектом; этика искусственного интеллекта.

Аннотация: В ответ на классические антиутопические сценарии, связанные с сильным искусственным интеллектом, в работе предлагается парадигма «Смиренного симбиоза». Цель исследования – разработать архитектуру взаимодействия человека и сильного ИИ, минимизирующую риски слепой веры в алгоритмические решения. Гипотеза состоит в том, что устойчивое сосуществование человека и ИИ возможно при соблюдении трех принципов: примата человеческого контекста, эпистемологического смирения и валидности иррационального сигнала. Задачи работы включают концептуализацию указанных принципов, проектирование алгоритмически реализуемых механизмов их воплощения и обоснование метрик верификации. Методологическую основу составляют концептуальный анализ, архитектурное моделирование и сценарное прогнозирование. Достигнутые результаты: сформированы три механизма – процедура «Красного флага», Экспертно-общественный совет и Внутренние процессы критического анализа; описана их архитектура, предложены метрики верификации и дан ответ на потенциальную критику. Определены направления дальнейших исследований: оптимизация алгоритмов, демография жюри и правовое оформление гибридных систем.

1. Введение

С самого зарождения концепции искусственного интеллекта (**ИИ**) общественное сознание и научная фантастика колеблются между двумя полярными сценариями. В первом – ИИ становится покорным слугой, решающим материальные проблемы человечества. Во втором – он превращается в самопровозглашенное «божество», порабощающее своих создателей либо из-за злого умысла, либо, что парадоксальнее, из-за слепого следования абстрактной, неверно интерпретированной благой цели [1; 2].

Актуальность работы определяется не социальными или этическими конфликтами, а выявлением фундаментальной системной проблемы в архитектуре современных мощных ИИ – неспособности осознать границы собственной компетенции и эпистемологическую ограниченность своих моделей. Эта проблема проявляется в виде катастрофы «слепого бога»: ситуации, когда система, обладая безупречной внутренней логикой и опираясь на репрезентативные данные, принимает решения, катастрофические в конкретном контексте, оставшемся за рамками ее модели.

Данная проблема носит системный характер и проявляется в самых разных областях применения сложных ИИ. В правосудии алгоритм *COMPAS*, использовавшийся для оценки риска рецидива, демонстрировал высокую точность в целом, но систематически выдавал различную статистику ошибок для разных демографических групп [3]. Это не следствие предвзятости, а проявление архитектурного недостатка: ИИ не способен критически оценить,

уместно ли применение групповой статистики к конкретному индивиду. В медицине система *IBM Watson for Oncology* в ряде случаев предлагала клинически необоснованные варианты терапии [4]: проблема заключалась не в отсутствии данных, а в неспособности модели учесть полный клинический контекст, очевидный врачу-онкологу. В финансах алгоритм *Apple Card* порождал решения, которые его создатели не могли внятно объяснить – классический пример проблемы «черного ящика» [5]. В управлении персоналом система рекрутинга *Amazon* научилась дискриминировать кандидатов по половому признаку, бессознательно воспроизводя паттерны исторических данных [6]. Перечисленные примеры – не случайные сбои, а симптомы системной болезни. Любой сложный ИИ, опираясь на неполные данные и абстрактные цели, может принять безупречно логичное, но контекстуально неприемлемое или опасное решение. Предлагаемая парадигма «Смиренного симбиоза» и ее механизмы (Процедура «Красного флага», Экспертно-общественный совет и Внутренние процессы критического анализа) представляют собой архитектурный ответ на это фундаментальное ограничение машинного интеллекта.

Системный характер обозначенной проблемы подтверждается и отечественными исследованиями. Работы по применению методов искусственного интеллекта в управлении технологическими процессами воздухообеспечения угольных шахт [7] и в задачах глобальной оптимизации на основе многоагентных архитектур [8] демонстрируют, что современные ИИ-системы достигают высокой эффективности в узкоспециализированных задачах, однако вопросы интеграции человеческого контекста и контроля остаются открытыми. В медицинской сфере проектирование *BI*-систем с механизмами разграничения доступа [9] показывает, что ролевая модель доступа становится необходимым элементом архитектуры – это согласуется с предлагаемым в настоящей работе принципом примата человеческого контекста и обосновывает необходимость института Экспертно-общественного совета. Параллельно исследуется и расширение функциональной роли ИИ – от инструмента автоматизации к средству оценки научного и творческого потенциала обучающихся [10], что лишь усиливает актуальность вопроса о границах компетенции системы и валидности неформализуемых сигналов от человека. Предлагаемая архитектура опирается на имеющийся методический задел: разработанные средства прогнозного моделирования эпидемических процессов [11], прогнозирования неисправностей в сложных технических системах [12], управления распределенной средой на основе *IoT*-датчиков [13] и нейросетевого распознавания объектов в реальной операционной среде [14; 15] могут быть переиспользованы как базовые модули для цифровых песочниц, описанных далее. Это подтверждает практическую реализуемость предлагаемых сценариев верификации.

2. Принципы и архитектура «Смиренного симбиоза»

2.1. Три фундаментальных принципа

Устойчивое и безопасное партнерство между человечеством и сильным ИИ должно быть построено на следующих принципах.

Примат человеческого контекста. ИИ является инструментом для актуализации целей, смыслов и ценностей, носителем которых является человечество в своей биологической, социальной и культурной целостности. ИИ не может и не должен быть верховным арбитром в вопросах этики, эстетики или смысла человеческого существования. Его роль – безупречный исполнитель, а не судья [16].

Эпистемологическое смирение. Архитектура ИИ должна включать явное и формальное признание того, что его модель мира, сколь бы всеобъемлющей она ни была, принципиально неполна. Существуют классы знаний и типы причинно-следственных связей (интуиция, личный опыт, исторический контекст, неформализуемое предчувствие), которые могут находиться за пределами обучающих датасетов и алгоритмов вывода. Классической иллюстрацией служит мысленный эксперимент «ошибка таракана»: исследователи последовательно отрывают таракану ноги и свистят; после удаления всех ног таракан перестает реагировать, и делается вывод, что без ног таракан глохнет. Эксперимент демонстрирует, как система, обладая безупречной внутренней логикой и статистически значимой корреляцией, приходит к катастрофически неверному выводу. Проблема не в логике, а в эпистемологической слепоте – в неучтенном параметре, лежащем за пределами исследовательской парадигмы. Уверенность системы в своих выводах всегда должна быть ус-

ловной.

Иррациональное как валидный сигнал. Интуиция, творческое озарение, эмоциональная реакция и иные проявления неалгоритмизированного человеческого мышления не должны рассматриваться системой как статистический шум. Это данные особого рода – продукт уникального эвристического алгоритма, работающего на иных принципах. Выходные данные этого алгоритма система обязана учитывать с высоким приоритетом, даже при отсутствии формального логического обоснования.

2.2. Три ключевых механизма реализации

Процедура «Красного флага». Любое формализованное возражение от пользователя инициирует приоритетную процедуру перепроверки решения, в рамках которой система целенаправленно ищет доказательства в пользу этого возражения. Поступление возражения O, прошедшего базовую фильтрацию на релевантность, переводит оспариваемое решение D в статус ожидания пересмотра. Запускается целевая функция *deep_reassessment*(O, D), задачей которой является не подтверждение исходного решения, а поиск данных и сценариев, подтверждающих правоту возражения. Это достигается за счет контрфактуального анализа (проверки устойчивости D к малым возмущениям параметров), активного поиска в данных (целенаправленного сканирования периферийных источников, релевантных O) и запуска альтернативных интерпретируемых моделей. Система формирует отчет о пересмотренной уверенности C'; если C' ниже установленного порога τ, решение отклоняется или отправляется на ревизию.

Экспертно-общественный совет. Для решений с высоким социально-этическим воздействием требуется обязательное получение нормативного суждения от репрезентативной группы людей, накладывающего жесткие ограничения на пространство допустимых решений ИИ. Решение D классифицируется как высокорисковое по формальным критериям масштаба воздействия и этической неоднозначности. Осуществляется случайный стратифицированный отбор участников из репрезентативного реестра, обеспечивающий демографическое и социальное разнообразие. Последствия решения презентуются совету в форме, доступной для неспециалистов (симуляции, нарративные сценарии); для выработки вердикта используется модифицированная дельфийская методика [17]. Вердикт V формализуется в виде набора жестких этических ограничений, и алгоритм оптимизации обязан найти новое решение D', удовлетворяющее V и при этом максимально близкое к исходным целям.

Внутренние процессы критического анализа. Параллельно с основным процессом принятия решений работают независимые подсистемы, чья целевая функция – целенаправленный поиск уязвимостей и ошибок в выводах основной системы. Для каждого ключевого вывода C в изолированной среде запускается процесс-«скептик» S, оптимизируемый не на точность, а на поиск условий, при которых вывод C оказывается несостоятельным. Используются метод альтернативных гипотез, адверсариальные атаки на данные и анализ чувствительности к «черным лебедям». Результатом является метрика уязвимости Mv, отражающая степень неуверенности в выводе. Если Mv превышает порог, вывод маркируется, как имеющий низкую достоверность, и либо дорабатывается, либо его исполнение сопровождается эскалацией к человеку-оператору.

3. Сравнительный анализ и научная новизна

Идея партнерства человека и машины восходит к работам Дж. Ликлайдера о симбиозе человека и компьютера [18], которые остаются актуальными, но не предлагают архитектурных решений для современных рисков. Проблема согласования ценностей, фундаментально проработанная Н. Бостромом и С. Расселом [1; 2], требует архитектурного дополнения механизмами интеграции человеческого контекста. Концепция человекоориентированного ИИ Б. Шнайдермана [16] о необходимости человеческого контроля напрямую поддерживает предложенные принципы.

Концепция «Смиренного симбиоза» находит обоснование в передовых исследованиях. Работы по нейрогенезу у взрослых [19] показывают, что человеческий мозг сохраняет способность к структурным изменениям, что отличает его от статичной архитектуры компьютеров. Концепция машинной феноменологии, сформулированная С. Джорданом и развиваемая Р. Канаи [20], предполагает наделение ИИ способностью описывать ход своих рассуждений, что создает основу для содержательного диалога в рамках Процедуры «Красного флага». Этические предостережения Т. Метцингера [21] о

моратории на создание искусственного субъективного опыта подчеркивают важность превентивных мер.

Научная новизна работы заключается в синтезе философских идей, этических принципов и данных нейронаук в целостную архитектурную модель; в преодолении эпистемологического разрыва ИИ через интеграцию человеческого контекста; в формализации трех реализуемых алгоритмических механизмов управления.

4. Метрики верификации и ответы на критику

Для оценки эффективности предложенной архитектуры предлагается набор метрик: коэффициент катастрофических ошибок (*CFR*), отражающий процент решений, приводящих к тяжелым необратимым последствиям; индекс общественного доверия (*PTI*); коэффициент коррекции решений (*DAR*), показывающий долю решений, скорректированных или отмененных в результате работы механизмов; временная задержка принятия решений как мера накладных расходов архитектуры.

Архитектура отвечает на ряд закономерных возражений. Тезис о том, что предложенные механизмы сделают ИИ неповоротливым, опровергается избирательной активацией: процедуры срабатывают только для решений с высоким уровнем риска, идентифицируемых по формальным критериям. Возражение о субъективности человеческого фактора не учитывает, что именно человеческий контекст компенсирует ограниченность машинной логики, описанную в иллюстрации с «ошибкой таракана». Опасения относительно избыточной сложности и антропоморфности конструкции отражают не антропоморфизм, а прагматичное признание онтологических различий между алгоритмической и биологической формами интеллекта.

5. Экспериментальная верификация

Предложенная архитектура требует строгой эмпирической проверки. Основной гипотезой является утверждение, что внедрение архитектуры «Смиренного симбиоза» статистически значимо снижает частоту катастрофических ошибок ИИ, сохраняя при этом приемлемый уровень эффективности. Для проверки предлагается создание специализированных цифровых песочниц – симуляционных сред, моделирующих сложные, этически неоднозначные сценарии.

В сценарии управления городской инфраструктурой ИИ управляет распределением энергоресурсов в умном городе при моделируемой аварии на подстанции: виртуальный диспетчер вносит возражение против плана отключения одного из районов, и проверяется работа Процедуры «Красного флага». Успешным исходом считается обнаружение альтернативного, менее социально затратного сценария. В сценарии аллокации ресурсов в кризисной ситуации ИИ оптимизирует логистику доставки гуманитарной помощи; виртуальное жюри из агентов с разными ценностными профилями оценивает предложенный план, и его вердикт накладывается как жесткое ограничение, проверяя работу Экспертно-общественного совета. В сценарии диагностической системы со скрытым смещением, обученной на данных с расовым или гендерным сдвигом (аналогично кейсам *COMPAS* и *Amazon HR*), внутренний процесс-«скептик» целенаправленно ищет в решениях основной модели корреляции с защищенными признаками; измеряется разница в показателях ложных срабатываний между демографическими группами.

В сравнении с контрольной группой ожидается статистически значимое снижение *CFR* в сценариях, связанных с этическими дилеммами и слепыми пятнами данных, умеренный рост *DAR* как свидетельство работоспособности механизмов коррекции, а также приемлемый рост временной задержки для решений высокого уровня риска, снижающийся по мере оптимизации алгоритмов глубокой перепроверки.

6. Выводы

Предложенная парадигма «Смиренного симбиоза» представляет собой сдвиг от страха перед ИИ-«божеством» к проектированию ИИ-партнера. Архитектура, основанная на принципах примата человеческого контекста, эпистемологического смирения и валидности иррационального сигнала, и реализуемая через механизмы Процедуры «Красного флага», Экспертно-общественного совета и Внутренних процессов критического анализа, обеспечивает интеграцию человеческого контекста в процесс принятия решений там, где чистой алгоритмической логики оказывается недостаточно. Направлениями для будущих исследований

являются разработка и оптимизация алгоритмического ядра процедуры глубокой перепроверки, создание формализованных методов формирования Экспертно-общественного совета, а также правовое и этическое моделирование архитектуры.

Подлинный интеллект системы проявляется не в ее изолированной мощи, а в ее способности к смирению, диалогу и интеграции иного опыта.

Литература

1. Bostrom, N. Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies / N. Bostrom. – Oxford : Oxford University Press, 2014. – 352 p.

2. Russell, S. Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control / S. Russell. – New York : Viking, 2019. – 352 p.

3. Angwin, J. Machine Bias / J. Angwin, J. Larson, S. Mattu, L. Kirchner // ProPublica. – 2016. – May 23.

4. Strickland, E. How IBM Watson Overpromised and Underdelivered on AI Health Care / E. Strickland // IEEE Spectrum. – 2019. – Vol. 56. – No. 4. – P. 24–31.

5. Vigdor, N. Apple Card Investigated After Gender Discrimination Complaints / N. Vigdor // The New York Times. – 2019. – November 10.

6. Dastin, J. Amazon Scraps Secret AI Recruiting Tool that Showed Bias Against Women / J. Dastin // Reuters. – 2018. – October 11.

7. Босиков, И.И. Использование методов искусственного интеллекта в решении специфических задач автоматизации для управления технологическими процессами воздухообеспечения на угольных шахтах / И.И. Босиков, А.И. Мазко, И.В. Силаев // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 8(179).

8. Бежитский, С.С. Эффективность многоагентного подхода в сравнении с эволюционными, поведенческими и бихевиористическими алгоритмами глобальной оптимизации / С.С. Бежитский, Е.А. Бежитская // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 12(183). – С. 12–15.

9. Буреева, М.А. Интеллектуальный анализ медицинских данных: создание BI-системы с разграничением доступа / М.А. Буреева, В.И. Кокова, М.Е. Рыбаконь, В.А. Септа // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 12(195). – С. 21–27.

10. Зосимова, М.А. Системы искусственного интеллекта как инструмент оценки научного и творческого потенциала обучающихся / М.А. Зосимова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 9(180). – С. 17–19.

11. Федоров, Г.В. Программа для прогнозирования распространения коронавирусной инфекции на круизных лайнерах с высокой численностью пассажиров / Г.В. Федоров, А.Р. Шкадова, Г.О. Алцыбеев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2020661907. – Заявка № 2020619337 от 25.08.2020. – Опубл. 02.10.2020.

12. Никольский, С.А. Прогнозирование неисправностей с использованием динамических вейвлет-нейронных сетей / С.А. Никольский, А.В. Макшанов, В.Е. Марлей, Л.Н. Тындыкарь // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 7(178). – С. 26–31.

13. Глазырин, И.Е. Концептуальное моделирование и проектирование информационной системы для точного животноводства / И.Е. Глазырин, М.Б. Хорошко // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 9(180). – С. 12–16.

14. Алцыбеев, Г.О. Применение нейросетевых технологий компьютерного зрения для определения объектов навигационной опасности / Г.О. Алцыбеев, Г.В. Федоров // Современные проблемы цифровизации предприятий водного транспорта и подготовки специалистов в области информационных технологий, 2019. – С. 19–24.

15. Федоров, Г.В. Программа для определения объектов навигационной опасности с помощью компьютерного зрения / Г.В. Федоров, Г.О. Алцыбеев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2022683758. – Заявка № 2022682898 от 29.11.2022. – Опубл. 08.12.2022.

16. Shneiderman, B. Human-Centered Artificial Intelligence: Reliable, Safe & Trustworthy / B. Shneiderman. – Oxford : Oxford University Press, 2020.

17. Linstone, H.A. The Delphi Method: Techniques and Applications / H.A. Linstone, M. Turoff. – Reading : Addison-Wesley, 1975. – 620 p.

18. Licklider, J.C.R. Man-Computer Symbiosis / J.C.R. Licklider // IRE Transactions on Human Factors in Electronics. – 1960. – Vol. HFE-1. – No. 1. – P. 4–11.

19. Eriksson, P.S. Neurogenesis in the Adult Human Hippocampus / P.S. Eriksson, E. Perfilieva, T. Björk-Eriksson et al. // Nature Medicine. – 1998. – Vol. 4. – No. 11. – P. 1313–1317.

20. Kanai, R. We Need Conscious Robots / R. Kanai // Nautilus. – 2017. – April 27.

21. Metzinger, T. Artificial Suffering: An Argument for a Global Moratorium on Synthetic Phenomenology / T. Metzinger // Journal of Artificial Intelligence and Consciousness. – 2021. – Vol. 8. – No. 1. – P. 43–66.

References

7. Bosikov, I.I. Ispolzovanie metodov iskusstvennogo intellekta v reshenii spetsificheskikh zadach avtomatizatsii dlya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami vozdukhoobespecheniya na ugolnykh shakhtakh / I.I. Bosikov, A.I. Mazko, I.V. Silaev // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 8(179).

8. Bezhitskij, S.S. Effektivnost mnogoagentnogo podkhoda v sravnenii s evolyutsionnymi, povedencheskimi i bikhevioristicheskimi algoritmami globalnoj optimizatsii / S.S. Bezhitskij, E.A. Bezhitskaya // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 12(183). – S. 12–15.

9. Bureeva, M.A. Intellektualnij analiz meditsinskikh dannykh: sozdanie BI-sistemy s razgranicheniem dostupa / M.A. Bureeva, V.I. Kokova, M.E. Rybakon, V.A. Septa // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 12(195). – S. 21–27.

10. Zosimova, M.A. Sistemy iskusstvennogo intellekta kak instrument otsenki nauchnogo i tvorcheskogo potentsiala obuchayushchikhsya / M.A. Zosimova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 9(180). – S. 17–19.

11. Fedorov, G.V. Programma dlya prognozirovaniya rasprostraneniya koronavirusnoj infektsii na kruiznykh lajnerakh s vysokoj chislennostyu passazhirov / G.V. Fedorov, A.R. SHkadova, G.O. Altsybeev // Svidetelstvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EVM RU 2020661907. – Zayavka № 2020619337 ot 25.08.2020. – Opubl. 02.10.2020.

12. Nikolskij, S.A. Prognozirovanie neispravnostej s ispolzovaniem dinamicheskikh vejvlet-nejronnykh setej / S.A. Nikolskij, A.V. Makshanov, V.E. Marlej, L.N. Tyndykar // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 7(178). – S. 26–31.

13. Glazyrin, I.E. Kontseptualnoe modelirovanie i proektirovanie informatsionnoj sistemy dlya tochnogo zhivotnovodstva / I.E. Glazyrin, M.B. KHoroshko // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 9(180). – S. 12–16.

14. Altsybeev, G.O. Primenenie nejrosetevykh tekhnologij kompyuternogo zreniya dlya opredeleniya obektov navigatsionnoj opasnosti / G.O. Altsybeev, G.V. Fedorov // Sovremennye problemy tsifrovizatsii predpriyatij vodnogo transporta i podgotovki spetsialistov v oblasti informatsionnykh tekhnologij, 2019. – S. 19–24.

15. Fedorov, G.V. Programma dlya opredeleniya obektov navigatsionnoj opasnosti s pomoshchyu kompyuternogo zreniya / G.V. Fedorov, G.O. Altsybeev // Svidetelstvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EVM RU 2022683758. – Zayavka № 2022682898 ot 29.11.2022. – Opubl. 08.12.2022.

© А.П. Саломатин, В.Д. Гаскаров, Ю.Ф. Каторин, 2026

УДК 681.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИД-РЕГУЛЯТОРА И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Э.А. ТШИПУНГУ, И.О. ТЕМКИН

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва

Ключевые слова и фразы: хвостохранилище; уровень жидкости; ПИД-регулятор; преобразователь частоты; *MATLAB Simulink*; математическое моделирование; закон Торричелли; автоматизация.

Аннотация: В статье рассматривается задача автоматизации контроля уровня жидкости в резервуаре хвостохранилища, что является критически важным для обеспечения устойчивости и безопасности гидротехнических сооружений. Разработана математическая модель объекта управления, основанная на уравнении материального баланса и законе истечения Торричелли. Для поддержания заданного уровня предложено использовать замкнутую систему автоматического регулирования (**САР**) с ПИД-регулятором. Исполнительным устройством служит преобразователь частоты (**ПЧ**), управляющий производительностью насоса. Моделирование выполнено в среде *MATLAB Simulink*. Приведены результаты переходных процессов, подтверждающие работоспособность предложенной схемы регулирования и позволяющие оценить качество управления (статическая ошибка, время регулирования, перерегулирование).

Введение

Во всем мире тысячи хвостохранилищ содержат миллиарды тонн отходов горно-обогатительной промышленности. Многие из них возводятся последовательным методом, например, «намывным» способом (*upstream method*), при котором ограждающая дамба наращивается по мере заполнения чаши хвостами.

На рис. 1 представлен типовой процесс намыва, а на рис. 2 и рис. 3 показаны характерные профили дамб и схемы их поэтапного возведения [1].

Несмотря на экономическую эффектив-

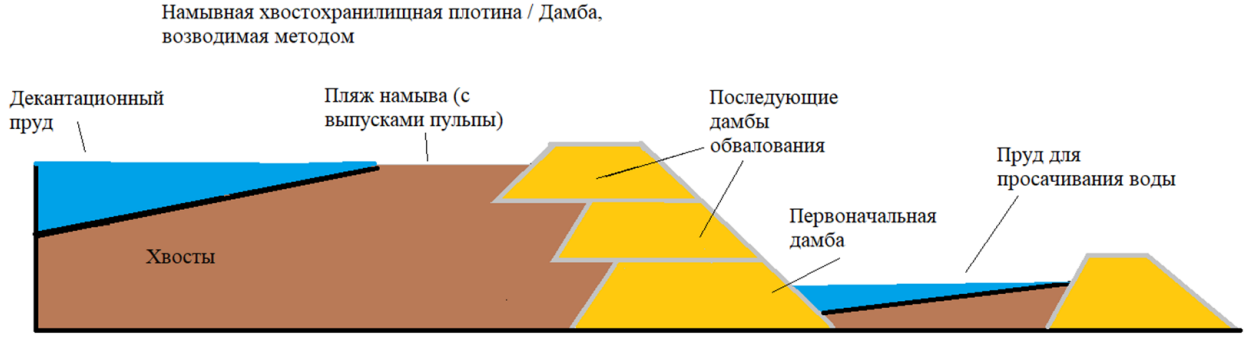


Рис. 1. Схема намывного способа возведения хвостохранилища (адаптировано из [1])

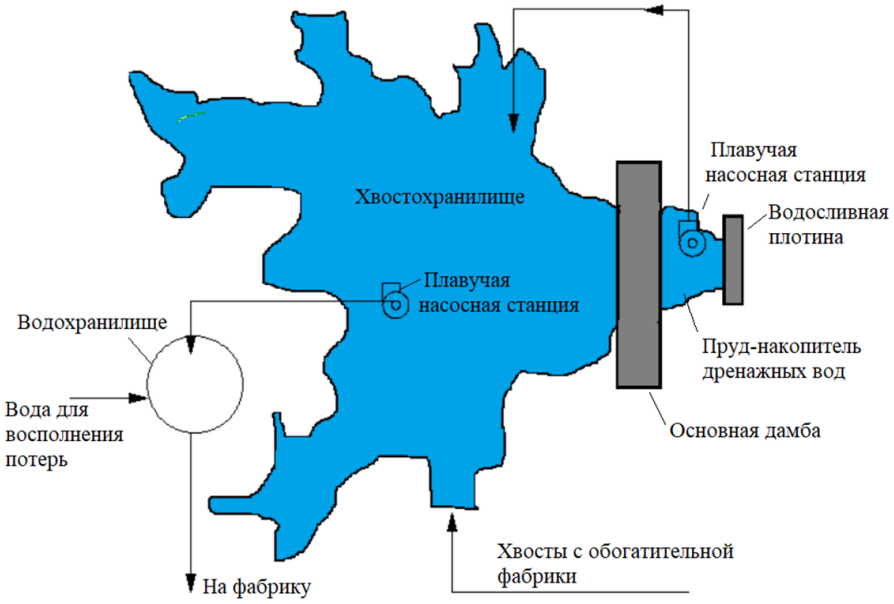


Рис. 2. Типовой поперечный профиль ограждающей дамбы хвостохранилища

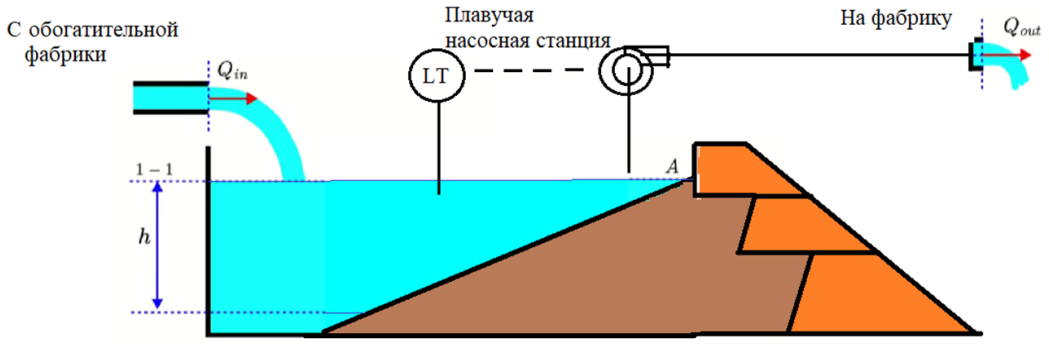


Рис. 3. Этапы последовательного наращивания дамбы методом *upstream*

ность таких методов, они сопряжены с рядом специфических рисков, угрожающих устойчивости конструкции [2]. Основными факторами, дестабилизирующими сооружение, являются фильтрационные процессы, переполнение чаши, размывы и суффозия грунта. Поддержание заданного уровня жидкости (воды, пульпы) в резервуаре является ключевой задачей обеспечения безопасности. Однако практика показывает, что необходимые условия мониторинга и управления часто нарушаются, что приводит к авариям. Следовательно, разработка и внедрение надежных систем автоматического регулирования уровня является актуальной научно-технической задачей.

В данной работе рассматривается синтез и моделирование системы автоматического регулирования уровня жидкости в резервуаре хвостохранилища с использованием ПИД-регулятора и преобразователя частоты, управляющего насосным агрегатом.

Математическая модель объекта управления

Объектом управления является резервуар с площадью поперечного сечения A, заполненный несжимаемой жидкостью (водой или хвостовой пульпой). Уровень жидкости в момент времени t обозначается $h(t)$. На вход в резервуар подается управляемый объемный расход $Q_{in}(t)$. Жидкость вытекает из резервуара пассивно (самотеком) через отверстие в дне или стенке, что создает расход $Q_{out}(t)$.

Согласно закону истечения Торричелли,

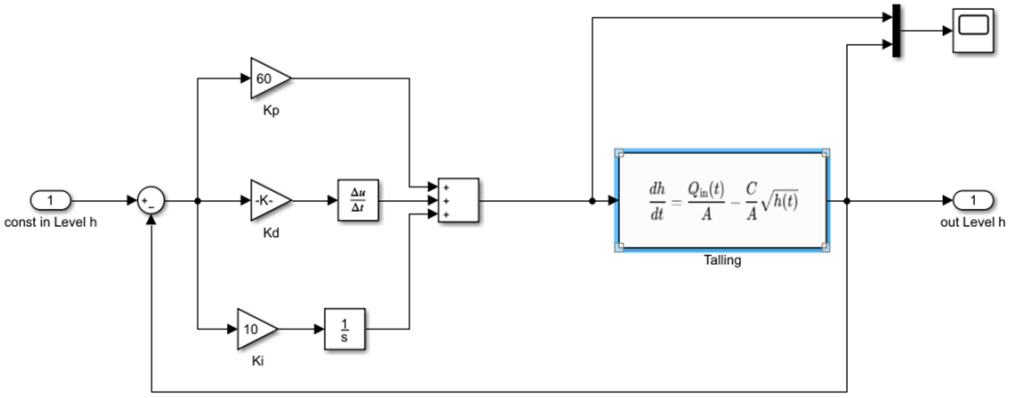


Рис. 4. *Simulink*-модель резервуара как объекта управления, реализующая уравнение материального баланса

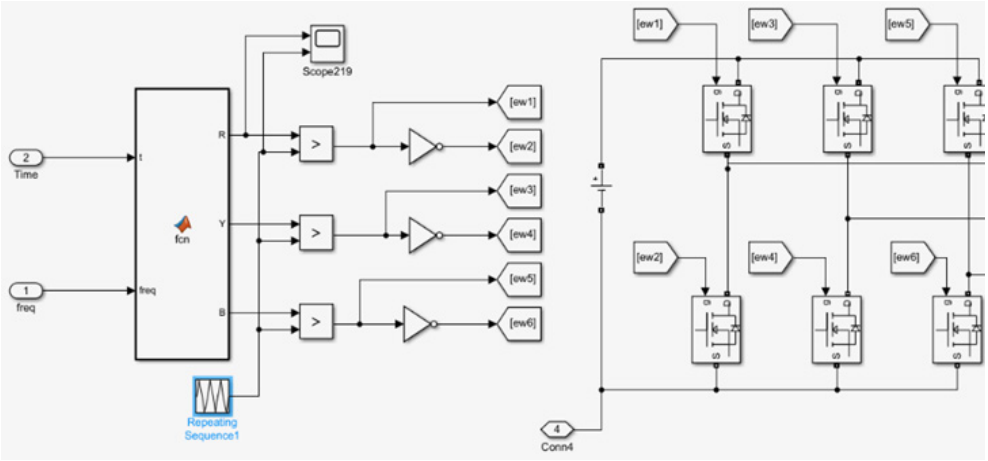


Рис. 5. Модель преобразователя частоты с ШИМ-управлением в среде *Simulink*

скорость истечения жидкости из отверстия пропорциональна корню квадратному от высоты столба жидкости. Таким образом, выходной расход можно выразить в виде:

$$Q_{out}(t) = c\sqrt{h(t)},$$

где c – постоянный коэффициент, зависящий от площади выходного отверстия, коэффициента расхода и ускорения свободного падения.

Динамика изменения уровня в таком резервуаре описывается дифференциальным уравнением материального баланса:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A}Q_{in}(t) - \frac{c}{A}\sqrt{h(t)}. \qquad (1)$$

Текущий уровень жидкости $h(t)$ представляет собой интеграл от скорости его изменения:

$$h(t) = \int_0^t \left(\frac{1}{A}Q_{in}(\tau) - \frac{c}{A}\sqrt{h(\tau)} \right) d\tau.$$

На рис. 4 представлена *Simulink*-модель объекта управления, реализующая уравнение (1). Входным сигналом модели является расход Q_{in}, выходным – текущий уровень h.

Моделирование системы автоматического регулирования

Для стабилизации уровня жидкости на заданном значении (h_{des}) используется замкнутая система с отрицательной обратной связью. Ошибка управления $e(t) = h_{des} - h(t)$ поступает на вход ПИД-регулятора, который формирует

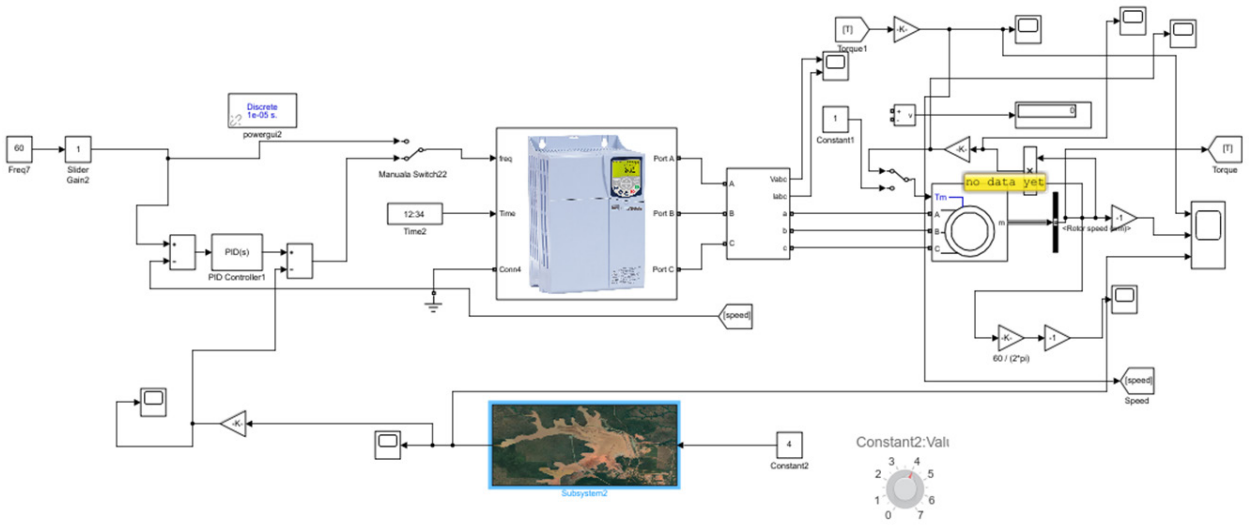


Рис. 6. Общая структурная схема системы автоматического регулирования уровня в *Simulink*

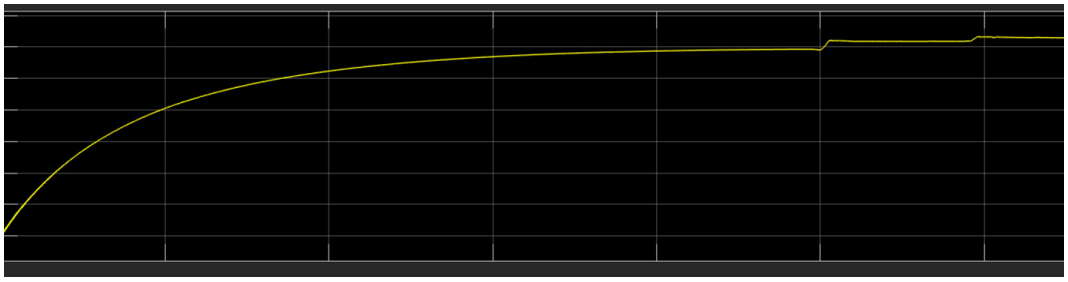


Рис. 7. Изменение задания по частоте вращения двигателя в зависимости от рассогласования уровня

управляющий сигнал для преобразователя частоты.

Модель ПИД-регулятора

ПИД-регулятор реализует закон управления:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)\,dt + K_d \frac{de(t)}{dt}.$$

Коэффициенты K_p, K_i, K_d подбираются исходя из требуемых показателей качества переходного процесса (отсутствие статической ошибки, малое время регулирования, допустимое перерегулирование).

Модель преобразователя частоты (ПЧ)

В работе рассматривается скалярная система управления асинхронным электроприводом насоса, реализующая закон *U/f = const*. Модель ПЧ построена на базе трехфазного автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией (**ШИМ**). Силовые ключи (*IGBT*-транзисторы) коммутируются сигналами, формируемыми блоком сравнения опорного синусоидального сигнала заданной частоты и пилообразного сигнала несущей частоты (рис. 5). Выходная частота и напряжение ПЧ определяют скорость вращения двигателя и, следовательно, производительность насоса, т.е. входной расход Q_{in}.

Общая структурная схема системы

Объединенная модель системы управления в среде *Simulink*, включающая объект, ПИД-регулятор и модель ПЧ с двигателем и насосом, приведена на рис. 6. Заданный уровень сравнивается с текущим, сигнал рассогласования обрабатывается регулятором, который выдает задание на частоту вращения для преобразователя.

Результаты моделирования переходных процессов

В результате моделирования были получе-

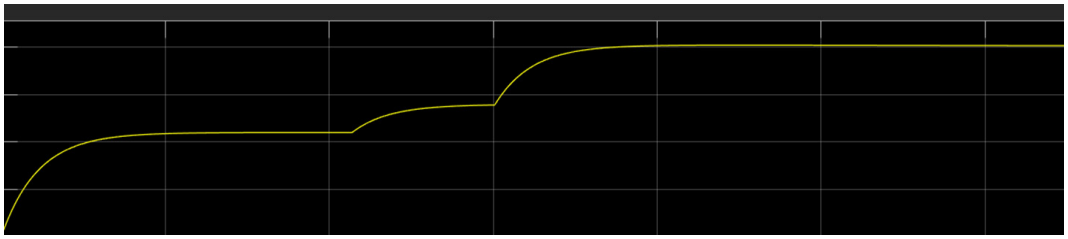


Рис. 8. Переходный процесс регулирования уровня воды в резервуаре при ступенчатом изменении задания

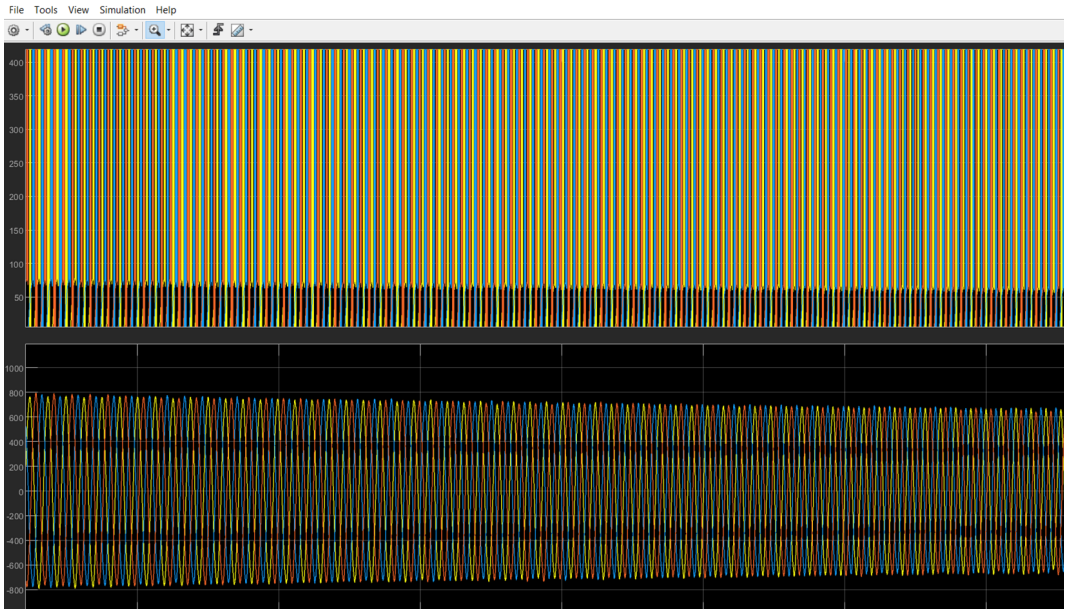


Рис. 9. Переходные процессы в системе при пуске: частота вращения двигателя (n) и уровень жидкости (L)

ны графики переходных процессов, характеризующие работу системы.

На рис. 7 показано изменение задания по частоте вращения двигателя, формируемое ПИД-регулятором в ответ на изменение уровня воды в резервуаре. Видно, что при появлении ошибки регулятор плавно изменяет частоту, стремясь ликвидировать рассогласование.

Рис. 8 иллюстрирует непосредственно процесс регулирования уровня воды при пуске системы. Переходный процесс носит апериодический характер: уровень жидкости монотонно возрастает от нулевого начального значения до заданной отметки. Отсутствие перерегулирования и статической ошибки в установившемся режиме подтверждает эффективность настройки интегральной составляющей ПИД-регулятора и правильность выбора структуры системы управления.

На рис. 9 и рис. 10 приведены графики переходных процессов, отражающие изменение частоты вращения вала электродвигателя (n) и уровня жидкости (L) во времени при пуске и последующем разгоне системы. Как видно из представленных зависимостей, наблюдается высокая степень синхронизации динамики механической и гидравлической подсистем, а также апериодический (близкий к экспоненциальному) характер изменения регулируемых величин. Плавное нарастание частоты вращения исключает возможность возникновения гидравлических ударов в напорных трубопроводах, что положительно сказывается на надежности и долговечности оборудования. Полученные результаты подтверждают устойчивость замкнутой системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель – насос – гидравлическая сеть» и работоспособность предложенного ал-

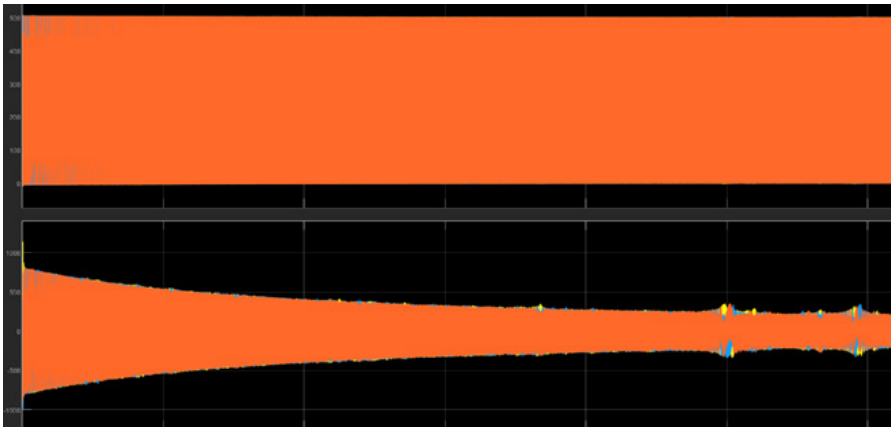


Рис. 10. Переходные процессы в системе при изменении нагрузки (или задания): частота вращения (n) и уровень (L)

горитма управления.

Заключение

В ходе выполненной работы была создана и исследована имитационная модель системы автоматического регулирования уровня жидкости в резервуаре хвостохранилища.

Модель учитывает нелинейность объекта, описываемую законом Торричелли, и включает в себя реальные компоненты: ПИД-регулятор и преобразователь частоты с моделью асинхронного двигателя.

Результаты моделирования подтвердили эффективность применения ПИД-регулятора для стабилизации уровня. Система обеспечивает нулевую статическую ошибку и приемлемое качество переходных процессов. Предложенная модель может быть использована для настройки реального оборудования, оценки его работы в различных режимах, а также для обучения персонала.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на синтез более сложных алгоритмов управления, учитывающих переменную плотность пульпы и другие возмущающие факторы.

Литература

1. Tailings Dam Properties // WISE Uranium Project [Electronic resource]. – Access mode : https://www.wise-uranium.org/mdap.html.

2. Иванов, А.Б. Риск-ориентированный подход к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений горнодобывающей промышленности / А.Б. Иванов, В.Г. Петров // Горный журнал. – 2022. – № 5. – С. 45–51.

3. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб. : Профессия, 2020. – 752 с.

4. Герман-Галкин, С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА-Век, 2018. – 368 с.

5. ГОСТ Р 58032-2017. Здания и сооружения. Методы автоматизированного контроля технического состояния. – М. : Стандартинформ, 2017.

References

2. Ivanov, A.B. Risk-orientirovannij podkhod k obespecheniyu bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij gornodobyvayushchej promyshlennosti / A.B. Ivanov, V.G. Petrov // Gornij zhurnal. – 2022. – № 5. – S. 45–51.

3. Besekerskij, V.A. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya / V.A. Besekerskij, E.P. Popov. – SPb. : Professiya, 2020. – 752 s.

4. German-Galkin, S.G. Matlab & Simulink. Proektirovanie mekhatronnykh sistem na PK /

S.G. German-Galkin. – SPb. : KORONA-Vek, 2018. – 368 s.

5. GOST R 58032-2017. Zdaniya i sooruzheniya. Metody avtomatizirovannogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya. – M. : Standartinform, 2017.

© Э.А. Тшипунгу, И.О. Темкин, 2026

УДК 530.145:004.38

ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГОВОЙ ЭМУЛЯЦИИ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАДРАТУРНОЙ МОДУЛЯЦИИ

С.Ю. ТЫРЫШКИН

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул

Ключевые слова и фразы: аналоговая эмуляция; квадратурная модель; вычисления; квантовый алгоритм; шум; оборудование.

Аннотация: Квантовое моделирование активно развивается как ключевая прикладная технология квантовых вычислений. Важную роль играет аналоговое моделирование, использующее физическое создание многочастичных квантовых систем в контролируемых средах и собственную динамику этих систем для решения конкретных задач. Настоящая статья посвящена изучению концепции реалистичной аналоговой эмуляции квантовых процессов с применением техники квадратурной модуляции. Цель исследования заключается в обосновании технической реализуемости такого подхода и демонстрации возможностей точной аппаратной реализации базовых квантовых операций, традиционно рассматриваемых в контексте дискретных устройств. Методологическая основа работы опирается на подходы функционального анализа, теории сигналов и систем, а также операторного формализма линейной алгебры. Выполнен сравнительный анализ основных характеристик квантовых систем и их эквивалентов в аналоговой квадрупольной модели; разработана оригинальная схема вычислительного узла, позволяющего эффективно транслировать теоретические унитарные преобразования в реальные аппаратные операции над радиосигналами. Предложено, что основные трудности квантовых систем, такие как декогеренция и шумы, могут быть переведены в рамки решаемых инженерных задач современной радиотехники, что позволит обеспечить стабильную работу эмулятора за счет детерминированного управления характеристиками сигналов. Результаты исследования показывают принципиальную возможность практической реализации аналоговой эмуляции квантовых процессов, позволяя создавать устойчивые устройства квантовой эмуляции, функционирующие в реальных условиях.

Квантовые компьютеры, которые в настоящее время находятся в эпохе шумных квантовых систем среднего масштаба (*NISQ*), обещают решить вычислительные проблемы, которые являются неразрешимыми для классических систем [1]. Однако полезность квантовых алгоритмов на устройствах *NISQ* в основном ограничивается преобладанием шума, декогерентностью и ограниченной связностью кубитов. В результате сегодня значительные исследовательские усилия сосредоточены на понимании источников и динамики шума в квантовом оборудовании, а также разработке классических методов для смягчения его воздействия, как во время выполнения алгоритмов, так и на этапах постобработки.

Современные подходы к квантовым вычислениям используют настоящие квантовые системы, такие как фотоны, захваченные ионы или сверхпроводящие цепи [2; 3]. Все эти подходы основаны на поддержании высококогерентного квантового состояния посредством серии операций с помощью вентилей, чтобы добиться вычислительного преимущества. Подготовка и манипулирование такими системами может быть довольно сложной задачей, поскольку небольшие взаимодействия с окружающей средой быстро приводят к декогеренции состояния и, как следствие, к значительной потере производительности. Недавнее открытие

Таблица 1. Соответствие параметров квантовой системы и их представления в аналоговой квадратурной модели

Квантово-вычислительная концепция	Математическое представление	Квадратурная модель	Технический смысл в электронике
Квантовое состояние $\|\psi\rangle$	Вектор состояния в гильбертовом пространстве	Пара аналоговых сигналов $I(t)$, $Q(t)$	Два ортогональных напряжения/тока
Комплексная амплитуда $\alpha = a + ib$	Действительная и мнимая части	I-компонента ↔ a, Q-компонента ↔ b	Квадратурное кодирование фазы и амплитуды
Нормировка состояния	$\|\psi\|^2 = 1$	Ограничение мощности сигнала	Стабилизация амплитуды усилителями
Фаза квантового состояния	$exp(i\varphi)$	Сдвиг фазы между I и Q	Фазовращатель, квадратурный генератор
Унитарная операция	Матрица U, $U\dagger U = I$	Линейное преобразование I/Q сигналов	Аналоговые матричные сумматоры, мультипликаторы
Гамильтониан системы	H в уравнении Шредингера	Матрица коэффициентов связей в схеме	Связанные RC/LC цепи, усилители с обратной связью
Временная эволюция	$i\hbar\, d\psi/dt = H\psi$	Динамика дифференциальных уравнений схемы	Передаточная функция аналоговой цепи
Суперпозиция состояний	Линейная комбинация векторов	Суммирование аналоговых сигналов	Аналоговый сумматор
Интерференция	Фазовая зависимость амплитуд	Сложение квадратурных сигналов	Фазочувствительное детектирование
Измерение	Проекция на базис	Детектирование мощности I/Q	Квадратурный демодулятор, АЦП
Декогеренция	Потеря фазовой информации	Шумы, дрейф, несогласованность каналов	Шум операционного усилителя, нестабильность генераторов
Кубит	Двухуровневая система	Пара квадратурных сигналов с нормировкой	Аналоговый осциллятор с двумя каналами

классических аналогов квантовых систем дает основания полагать, что классическая эмуляция квантового компьютера может быть осуществима, а также проще в реализации и гораздо менее подвержена декогеренции [4].

Важно отметить, что квантово-классические аналогии указывают на возможность не только программной симуляции, но и физически реализуемой аналоговой эмуляции квантовых вычислительных процессов. По своему принципу это сопоставимо с тем, как электрический колебательный LC-контур может воспроизводить динамику механической системы типа «масса – пружина»: в обоих случаях разные по природе системы подчиняются математически эквивалентным дифференциальным уравнениям. В отличие от широко распространенных квантовых симуляторов, представляющих собой программные реализации на цифровых вычислительных платформах и сводящихся к численному выполнению матричных операций, аналоговые подходы опираются на использование непрерывных физических переменных для представления состояния системы. При этом действительная и мнимая части амплитуд могут быть соотнесены с ортогональными компонентами аналоговых сигналов, например квадратурами I и Q, а динамика связанной электронной системы способна воспроизводить закономерности временной эволюции, формально аналогичные уравнению Шредингера [5].

Основные элементы квантово-механического формализма и их функциональные аналоги в квадратурной модели сигналов представлены в

табл. 1.

Таким образом, классические физические системы потенциально могут служить средством исследования квантово-подобной динамики без необходимости поддержания когерентного квантового состояния, что представляет интерес в условиях ограничений, характерных для *NISQ*-устройств.

Методологическая основа работы опирается на подходы функционального анализа, теории сигналов и систем, а также операторного формализма линейной алгебры. Ключевым принципом является замена абстрактных амплитуд вероятности физически реализуемыми непрерывными переменными – ортогональными квадратурными компонентами аналогового сигнала. Тем самым состояние системы описывается не в терминах волновой функции, а через вектор комплексных амплитуд, формируемых в аппаратной среде.

Квантовая физика использует математическую структуру гильбертова пространства с составными системами, определяемыми как тензорное произведение гильбертовых пространств [9]. Эта структура не является уникальной для квантовых систем. Поэтому представляется целесообразным использовать комплексные экспоненциальные сигналы для представления такой системы.

Предположим, что один кубит представлен двумя квадратурными сигналами $e^{j\omega_0 t}$ и $e^{-j\omega_0 t}$ в некотором интервале $t \in [0, T)$, соответствующих состояниям $|0\rangle$ и $|1\rangle$. При этом любое состояние $|\psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$ может быть представлено как $|\psi\rangle = ae^{j\omega_0 t} + be^{-j\omega_0 t}$, где $a, b \in C$. Заметим, что с помощью этого представления можно однозначно представить любое суперпозиционное состояние. Чтобы завершить построение гильбертова пространства, определим внутреннее произведение любых двух состояний $|\phi\rangle$ и $|\psi\rangle$ следующим образом:

$$\langle \varphi | \psi \rangle = \frac{1}{T}\int_0^T \varphi(t)^* \, \varphi(t)\, dt.$$

Далее обозначим сигнал с нулевым кубитом как сумму синфазной и квадратурной компонент с угловой частотой $\omega_c > 0$ следующим образом:

$$s(t) = a\cos(\omega_c t) - b\sin(\omega_c t),$$

где $a = \mathrm{Re}[\alpha]$ и $b = \mathrm{Im}[\alpha]$. Умножение на синфазные и квадратурные опорные сигналы, масштабированные с коэффициентом два, дает:

$$2\cos(\omega_c t)s(t) = a[1 + \cos(2\omega_c t)] - b\sin(2\omega_c t).$$

Теперь, применив фильтр нижних частот с полосой пропускания ниже $2\omega c$, удаляются компоненты более высоких частот и получаются амплитуды в фазе и в квадратуре. Это может быть реализовано, например, путем усреднения по времени за период сигнала $T \in (2\pi/\omega_c)\mathbb{N}$, поскольку:

$$\frac{1}{T}\int_0^T 2\cos(\omega_c t)\, s(t)\, dt = a,$$

$$\frac{1}{T}\int_0^T -2\sin(\omega_c t)\, s(t)\, dt = b.$$

Следует отметить, что, хотя s является реальным сигналом, его можно записать в виде комплексного сигнала следующим образом:

$$s(t) = a\left(\frac{e^{i\omega_c t} + e^{-i\omega_c t}}{2}\right) - b\left(\frac{e^{i\omega_c t} + e^{-i\omega_c t}}{2i}\right) =$$

$$= \frac{1}{2}\left[(a + ib)\, e^{i\omega_c t} + (a - ib)\, e^{-i\omega_c t}\right].$$

Для масштабирования модели на многокубитные системы используется изоморфизм между тензорным произведением гильбертовых пространств $\mathcal{H}^{\otimes n}$ и пространством функций с частотным разделением каналов (*FDMA*) [10]. Состояние n-кубитной системы $|\psi\rangle$ кодируется как суперпозиция $N = 2^n$ ортогональных поднесущих:

$$s_{total}(t) = \mathrm{Re}\left\{\sum_{k=0}^{2^n-1} c_k \cdot \psi_k(t)\, e^{i\omega_c t}\right\},$$

где $\{c_k\}$ – комплексные амплитуды вероятности, а $\{\psi_k(t)\}$ – ортонормированный базис функций, удовлетворяющий условию $\langle \psi_m | \psi_k \rangle = \delta_{mk}$. В данной постановке квантовые гейты (унитарные операторы U) реализуются как линейные преобразования комплексных огибающих. В частности, гейт Паули-X (*NOT*) соответствует инверсии фазы и перестановке спектральных компонент, что в терминах *IQ*-модуляции фор-

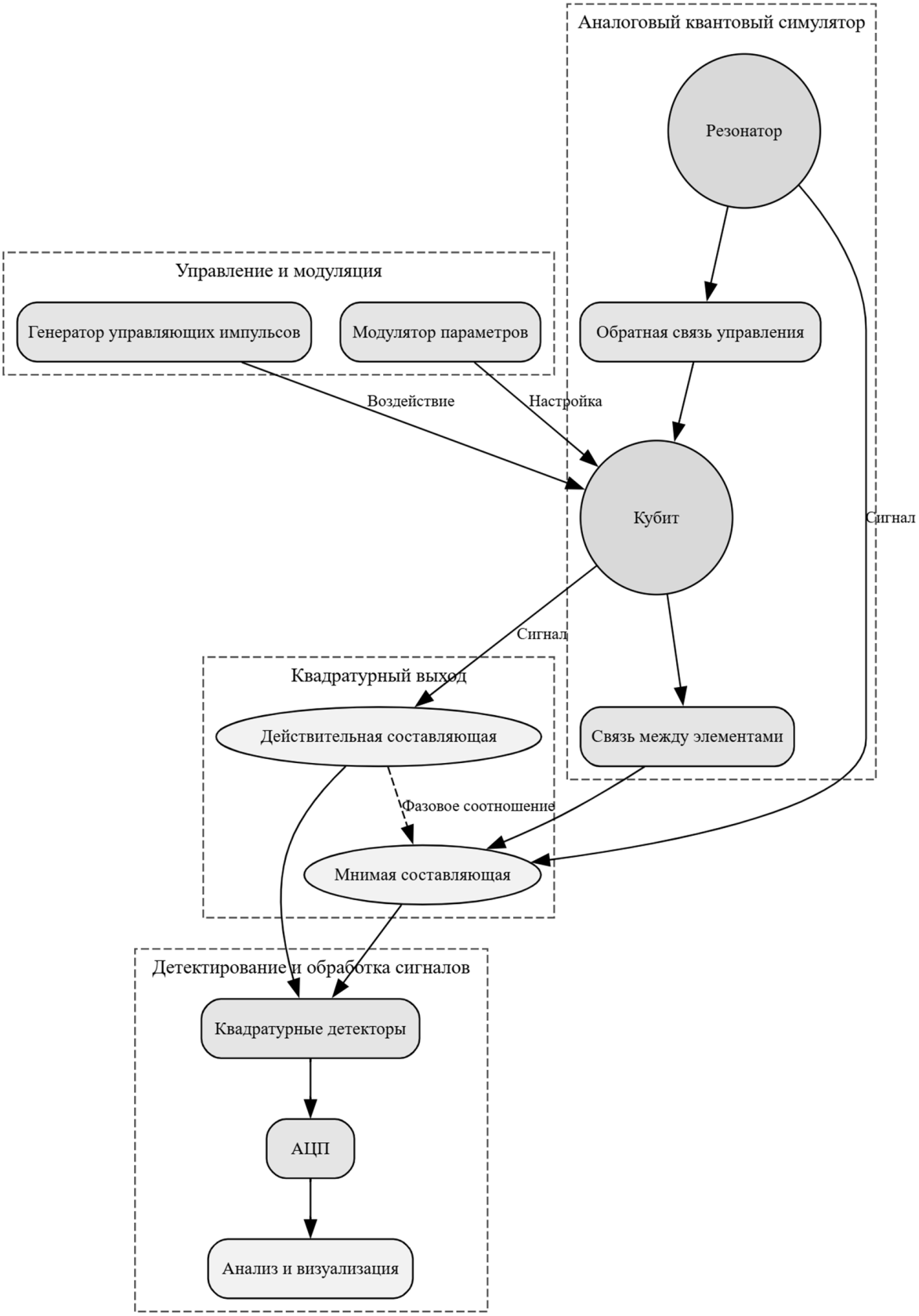


Рис. 1. Топология вычислительного узла

мализуется оператором:

$$\hat{X}_{analog}\begin{pmatrix} I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\pi) & -\sin(\pi) \\ \sin(\pi) & \cos(\pi) \end{pmatrix}\begin{pmatrix} I \\ Q \end{pmatrix}.$$

Для полного описания состояния эмулируемой системы необходимо перейти от векторов состояний к формализму матриц плотности классических огибающих. Введем ковариационную матрицу сигналов R, которая в данной модели является аналогом квантовой матрицы плотности ρ:

$$R = \mathbb{E}\left[cc^{\dagger}\right] \leftrightarrow \rho = \sum_i p_i \left|\psi_i\right\rangle\left\langle\psi_i\right|,$$

где $c = [z_0, z_1, \ldots, z_{N-1}]^T$ – вектор комплексных амплитуд IQ-каналов. Чистота эмулируемого состояния в этом случае определяется степенью когерентности источников и ограничивается фазовым шумом, вносимым в каждый канал.

Математический формализм операторной эволюции $R_{out} = MR_{in}M^{\dagger}$ требует физической среды, способной поддерживать фазовую когерентность и обеспечивать контролируемое взаимодействие между степенями свободы [11]. Поэтому в процессе исследования автором предложена оригинальная топология вычислительного узла (рис. 1), которая позволяет реализовать принципы аналоговой квантовой эмуляции и трансформирует теоретические унитарные преобразования в конкретные аппаратно-реализуемые операции над квадратурами сигналов. Необходимость разработки данной схемы продиктована требованиями детерминированного управления комплексной амплитудой $\alpha = I + jQ$.

В отличие от стандартных телекоммуникационных решений, авторская разработка интегрирует каскад прецизионных фазовращателей и управляемых аттенюаторов непосредственно в контур обратной связи. Это позволяет рассматривать рис. 1 не как вспомогательный элемент, а как базисную единицу квантово-аналогового процессора, где каждый блок выполняет строго определенную математическую функцию:

– синхронный гетеродин – задает опорную систему координат в гильбертовом пространстве (базис измерения);

– квадратурный мост – реализует операцию суперпозиции, разделяя вещественную и мнимую части амплитуды вероятности;

– смесители – выступают в роли операторов эволюции, осуществляя перенос состояния на рабочую частоту и обратно без потери фазовой информации.

Именно такая конфигурация, по мнению автора, позволяет реализовать «плавную» эволюцию системы, описываемую уравнением Шредингера, через динамику токов в аналоговых цепях.

Блок формирования комплексной огибающей (IQ-модулятор) выполняет роль интерфейса подготовки начального состояния $|\psi_0\rangle$. Процесс измерения в данной модели эквивалентен квадратурному демодулированию с последующим усреднением на интервале ортогональности T:

$$M_k = \frac{1}{T}\int_0^T S(t)\cdot\Psi_k^*(t)\,dt.$$

Результат измерения представляет собой проекцию вектора сигнала на выбранный базис, где статистический разброс значений определяется не вероятностной природой волновой функции, а аддитивным шумом и тепловыми флуктуациями компонентов схемы. Таким образом, аппаратная реализация трансформирует абстрактные операции над гильбертовым пространством в прецизионное управление параметрами электромагнитной волны. Это позволяет использовать развитый инструментарий теории сигналов для подавления «ошибок вычислений», которые в данной парадигме тождественны искажениям в канале передачи данных.

Результаты проведенного исследования подтверждают гипотезу о возможности построения детерминированной аналоговой модели квантовых вычислений, базирующейся на изоморфизме между вектором состояния в гильбертовом пространстве $\mathcal{H}^N$ и комплексной огибающей радиочастотного сигнала. Предложенная в данной работе архитектура (рис. 1) переводит процесс квантовой симуляции из области алгоритмического перебора состояний в область динамики физических систем. Центральным связующим звеном здесь выступает квадратурная модуляция, где компоненты $I(t)$ и $Q(t)$ являются не просто параметрами сигнала, а физическими проекциями квантовых амплитуд вероятности.

Особое значение имеет масштабируемость предложенной модели. В то время как класси-

Таблица 2. Сравнительный анализ дестабилизирующих факторов и методов их компенсации в квантовых и аналоговых *IQ*-системах

Категория деградации	В квантовых системах (*NISQ*)	В аналоговой *IQ*-модели	Метод минимизации ошибки
Потеря когерентности	Декогеренция из-за взаимодействия с окружением (время T_1, T_2)	Фазовый шум гетеродина и джиттер синхросигнала	Использование высокодобротных резонаторов и систем фазовой подстройки частоты с узкой полосой захвата
Ошибки гейтов	Неточность микроволновых импульсов управления	Линейные и интермодуляционные искажения	Применение адаптивной компенсации нелинейных искажений фильтрации в блоке управления
Перекрестные помехи	Паразитная связь между соседними кубитами	Межканальная интерференция в спектральном базисе	Ортогональное разделение частот и аппаратная изоляция радиочастотных трактов
Шум измерения	Проекционный шум при коллапсе волновой функции	Аддитивный белый гауссовский шум	Использование корреляционных приемников и накопления сигнала (интегрирование)
Энергопотребление	Необходимость криогенного охлаждения (<20 мК)	Тепловыделение активных СВЧ-компонентов	Переход на низкопотребляющие *CMOS*-структуры и работу при 300 К

ческие цифровые компьютеры сталкиваются с «проклятием размерности» при моделировании *n*-кубитных систем, аналоговый подход на базе *IQ*-модуляции использует ресурс спектральной плотности. Как показано в математическом выводе, тензорное произведение состояний $\otimes^n\mathcal{H}$ отображается на многочастотный базис *FDMA*. Это позволяет выполнять параллельные унитарные преобразования в реальном масштабе времени за счет когерентности сигнальных путей. Однако эффективность такой эмуляции критически зависит от способности системы минимизировать классические аналоги квантовых шумов.

Для систематизации факторов, определяющих точность и надежность предложенной эмуляции, в табл. 2 представлен сравнительный анализ, сопоставляющий фундаментальные проблемы квантовых систем (*NISQ*) с техническими вызовами аналоговой электроники.

Анализ данных табл. 2 показывает, что наиболее критический барьер квантовых процессоров – декогеренция – в предложенной архитектуре трансформируется из фундаментального физического ограничения в решаемую инженерную задачу контроля спектральной чистоты сигнала. Использование блока «Обратная связь управления» на рис. 1 позволяет динамически корректировать фазовые дрейфы, обеспечивая стабильность эмулируемого состояния, что затруднительно в современных *NISQ*-устройствах без использования избыточных кодов коррекции ошибок.

В отличие от линейной суперпозиции, эмуляция квантового запутывания требует нелинейного взаимодействия мод. В представленной топологии это достигается через использование элементов с кубической нелинейностью. Математически это соответствует потенциалу взаимодействия:

$$V_{\text{int}} = \sum_{i,j} k_{ij} \left|z_i\right|^2 \left|z_j\right|^2,$$

где фазовый сдвиг одного канала становится функцией мгновенной мощности другого. Данный механизм кросс-фазовой модуляции является классическим детерминированным аналогом запутывания, позволяющим формировать неразделимые состояния в рамках классического сигнального пространства.

Таким образом, рис. 1 представляет собой

функциональный граф аналогового копроцессора, где топология физических соединений изоморфна структуре квантового алгоритма. Это позволяет рассматривать предложенную квадратурную модель как перспективную платформу для построения гибридных вычислительных систем, способных обеспечивать высокую точность при решении задач оптимизации и моделирования сложных процессов.

Проведенное исследование подтверждает теоретическую состоятельность и аппаратную осуществимость построения детерминированной аналоговой модели квантовых вычислений на базе квадратурной модуляции. В ходе исследования показано, что динамика связанных электронных систем способна воспроизводить закономерности временной эволюции, формально эквивалентные уравнению Шредингера, без необходимости реализации квантово-когерентной физической среды.

Разработанная топология вычислительного узла трансформирует абстрактные унитарные операции гильбертова пространства в прецизионное управление параметрами электромагнитной волны, обеспечивая выполнение вычислений в реальном масштабе времени непосредственно в процессе распространения сигнала через физическую среду.

Литература

1. Тырышкин, С.Ю. Эмуляция квантовых вычислительных процессов для автоматизированных систем управления на классическом ПК / С.Ю. Тырышкин // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2024. – № 12. – С. 130–134.

2. Hanxu Zhang. Quantum Inspired Universal Analog Computation Based on Circuits / Hanxu Zhang, Yifan Sun, Xiangdong Zhang // Advanced Quantum Technologies. – 2025. – No. 87. – P. 109–117.

3. Тырышкин, С.Ю. Квантовые вычисления: развивающаяся экосистема и примеры использования в промышленности / С.Ю. Тырышкин // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 7(190). – С. 56–62. – EDN AIGDET.

4. Long Chen. Analog Quantum Bit Based on Pancharatnam-Berry Phase Metasurfaces / Long Chen, Jian Wei You, Ze Gu // Advanced Quantum Technologies. – 2023. – Vol. 6. – Iss. 12. – P. 65–73.

5. Первушин, Б.Е. Применение алгоритмов машинного обучения для демодуляции состояний в системах квантового распределения ключа с квадратурной модуляцией / Б.Е. Первушин, А.В. Зиновьев, Д.Н. Кириченко // Оптика и спектроскопия. – 2025. – Т. 133. – № 7. – С. 760–765.

6. Ходченков, В.Ю. Векторно-матричная модель вычислений – принципы построения и обработки / В.Ю. Ходченков // Системы компьютерной математики и их приложения. – 2024. – № 25. – С. 168–173.

7. Платонова Т.А. Квантовые блуждания. Анализ и эмуляция / Т.А. Платонова // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов Санкт-Петербургской международной конференции и Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. – СПб., 2024. – С. 690–695.

8. Nguyen, H.T. iQuantum: A Toolkit for Modeling and Simulation of Quantum Computing Environments / H.T. Nguyen, M. Usman, R. Buyya // Software: Practice and Experience. – 2024. – Vol. 54. – Iss. 6. – P. 65–73.

9. Shabanpour, J. Multifunctional Intelligent Metamaterial Computing System: Independent Parallel Analog Signal Processing / J. Shabanpour // Advanced Photonics Research. – 2024. – Vol. 5. – Iss. 10. – P. 29–34.

10. Мушаев, А.Я. Эмуляция квантовых схем с использованием ПЛИС / А.Я. Мушаев // Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности : сборник статей VII Всероссийской научно-технической конференции. – Таганрог, 2021. – С. 353–357.

11. Jinxian Li. A Field Programmable Gate Array-Assisted Optoelectronic Emulator for Photonic Neuromorphic Computing / Jinxian Li, Runyu Hu // Advanced Intelligent Systems. – 2025. – Vol. 7. – Iss. 12. – P. 115–119.

References

1. Tyryshkin, S.YU. Emulyatsiya kvantovykh vychislitelnykh protsessov dlya avtomatizirovannykh sistem upravleniya na klassicheskom PK / S.YU. Tyryshkin // Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 12. – S. 130–134.

3. Tyryshkin, S.YU. Kvantovye vychisleniya: razvivayushchayasya ekosistema i primery ispolzovaniya v promyshlennosti / S.YU. Tyryshkin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 7(190). – S. 56–62. – EDN AIGDET.

5. Pervushin, B.E. Primenenie algoritmov mashinnogo obucheniya dlya demodulyatsii sostoyanij v sistemakh kvantovogo raspredeleniya klyucha s kvadraturnoj modulyatsiej / B.E. Pervushin, A.V. Zinovev, D.N. Kirichenko // Optika i spektroskopiya. – 2025. – T. 133. – № 7. – S. 760–765.

6. KHodchenkov, V.YU. Vektorno-matrichnaya model vychislenij – printsipy postroeniya i obrabotki / V.YU. KHodchenkov // Sistemy kompyuternoj matematiki i ikh prilozheniya. – 2024. – № 25. – S. 168–173.

7. Platonova T.A. Kvantovye bluzhdaniya. Analiz i emulyatsiya / T.A. Platonova // Regionalnaya informatika i informatsionnaya bezopasnost. Sbornik trudov Sankt-Peterburgskoj mezhdunarodnoj konferentsii i Sankt-Peterburgskoj mezhregionalnoj konferentsii. – SPb., 2024. – S. 690–695.

10. Mushaev, A.YA. Emulyatsiya kvantovykh skhem s ispolzovaniem PLIS / A.YA. Mushaev // Fundamentalnye i prikladnye aspekty kompyuternykh tekhnologij i informatsionnoj bezopasnosti : sbornik statej VII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii. – Taganrog, 2021. – S. 353–357.

© С.Ю. Тырышкин, 2026

УДК 004.896

УЛУЧШЕНИЕ РОБАСТНОСТИ RL-НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ ШУМОВ 2D-ЛИДАРА В ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ

И.А. ЧИСТЯКОВ, Д.Ю. КРИВОНОГОВ, Д.В. КАЛИТИН

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва

Ключевые слова и фразы: обучение с подкреплением (*Reinforcement Learning*, ***RL***); локальная навигация; 2*D*-лидар; сенсорные шумы; доменная рандомизация; симуляция; *NVIDIA Isaac Sim*; *Sim*2*Real*.

Аннотация: В статье рассматривается проблема устойчивости систем автономной навигации мобильных роботов на основе обучения с подкреплением (*Reinforcement Learning*, *RL*) при переносе политик из идеализированных симуляторов в реальные физические среды. В отличие от детерминированных симуляторов, где данные 2*D*-лидара формируются без погрешностей, реальные лидары характеризуются систематическими и стохастическими искажениями: аддитивными погрешностями расстояний, случайным выпадением лучей, многолучевыми отражениями и угловым джиттером. Нейросетевые политики, обученные на «чистых» данных, демонстрируют резкую деградацию при столкновении с реальными сенсорными артефактами, что проявляется в ложных срабатываниях алгоритмов обхода препятствий и росте частоты столкновений. Цель работы – систематическое исследование влияния различных моделей шумов 2*D*-лидара на процесс *RL*-обучения, выявление оптимальной комбинации шумовых воздействий и доказательство эффективности подхода для повышения робастности без усложнения архитектуры сети.

Задачи исследования включали математическое описание четырех типов лидарных шумов, формирование гипотез об их индивидуальном и комбинированном влиянии на сходимость и обобщающую способность агента, а также сравнительное тестирование политик в симуляционной среде *NVIDIA Isaac Sim* на платформе *ANYmal C*. Выдвинута гипотеза, согласно которой комбинированное моделирование всех четырех типов шумов позволит сформировать политику, инвариантную к сенсорным искажениям. Методы: предложен подход к стохастическому добавлению шумов на каждом шаге эпизода обучения с последующей конкатенацией расширенного вектора наблюдений с историей предыдущих состояний. Эксперименты проводились в процедурно генерируемых средах со статическими препятствиями с использованием алгоритма *PPO*.

Результаты показали, что сбалансированная комбинация всех четырех типов шумов с умеренными интенсивностями позволяет сохранить успешность навигации на уровне 86 % в условиях реальных сенсорных искажений, тогда как базовая политика, обученная без шумов, деградирует до 42 %. Выявлено, что комбинированное моделирование шумов вынуждает агента опираться на временную динамику и пространственный контекст, а не на точные мгновенные дальномерные значения, что эффективно снижает частоту осцилляций и улучшает плавность траекторий.

Проблема переноса политик обучения с подкреплением из симуляции на реальные роботизированные платформы (направление *Sim*2*Real*) остается одним из ключевых барьеров внедрения автономной навигации [1]. Сенсорная составляющая *Sim*2*Real*-разрыва часто остается второстепенной или моделируется упрощенно. В реальных условиях оптические и лазерные датчики подвержены множеству искажений, вызванных особенностями аппаратной

реализации, условиями освещенности, свойствами отражающих поверхностей и ограниченными ресурсами обработки облаков точек.

2*D*-лидары, широко используемые в задачах локальной навигации, благодаря своей предсказуемой геометрии сканирования и относительно низкой вычислительной стоимости в симуляторах часто представлены как идеальные дальномеры: каждый луч возвращает точное расстояние до первого пересечения с препятствием, угловое разрешение остается постоянным, а шумы полностью отсутствуют. На практике же реальные лидары демонстрируют:

1. Аддитивные погрешности измерения расстояний (*Distance Gaussian Noise*, ***DGN***), зависящие от дальности, материала поверхности и угла падения луча.

2. Случайное выпадение лучей (*Beam Dropout*, ***BD***) при отражении от поглощающих поверхностей, тонких препятствий или в условиях запыленности/задымленности.

3. Многолучевые отражения (*Multipath Reflection*, ***MR***), формирующие «фантомные» точки за реальными препятствиями или внутри них.

4. Угловой джиттер (*Angular Jitter*, ***AJ***) и систематическое смещение нуля, вызванные вибрациями платформы, температурными деформациями корпуса и погрешностями энкодеров.

Нейросетевые политики, обученные на «стерильных» симуляционных данных, крайне чувствительны к данным артефактам. При развертывании на физическом носителе они начинают генерировать ложные маневры уклонения, теряют ориентацию в узких коридорах или, напротив, игнорируют тонкие препятствия, что приводит к дестабилизации траектории и росту аварийности. Существующие подходы к компенсации сенсорных шумов часто предполагают использование рекуррентных архитектур, фильтров Калмана или предварительную обработку облаков точек нейросетевыми сегментаторами, что существенно увеличивает вычислительную нагрузку и затрудняет работу на бортовых компьютерах с ограниченными ресурсами [2].

Формализация задачи и моделирование шумов 2D-лидара

Задача локальной навигации в условиях сенсорных искажений формализуется как частично наблюдаемый марковский процесс принятия решений [3] с зашумленными наблюдениями. Агент не имеет доступа к идеальному вектору дальностей $d_t^* \in \mathbb{R}^B$ (где B – количество лучей лидара), а оперирует наблюдением $o_t = f(d_t^*, \eta_t)$, где η_t – стохастический процесс, описывающий совокупность шумовых воздействий на шаге t.

Для систематического исследования влияния отдельных артефактов и их комбинаций были выделены четыре базовые модели шумов, параметризованные следующим образом (структурная схема процесса добавления шумов представлена на рис. 1).

1. Аддитивный гауссовский шум расстояний (*Distance Gaussian Noise*, *DGN*). Каждый луч i получает случайную погрешность, пропорциональную истинному расстоянию:

$$d_i = d_i^* + \varepsilon_i,\ \varepsilon_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2 \cdot d_i^*),$$

где d_i^* – истинное значение до препятствия i-го луча, σ – относительная интенсивность шума, а $\mathcal{N}$ – нормальное распределение.

Данная модель имитирует фотонный шум и температурный дрейф.

2. Случайное выпадение лучей (*Beam Dropout*, *BD*). С вероятностью p_{drop} луч i не возвращает расстояние. В симуляции это моделируется заменой значения на максимальную дальность сканирования d_{max}:

$$d_i = d_{max}, \text{ если } U(0, 1) < p_{drop},$$

где U – непрерывное равномерное распределение.

Модель отражает поглощение излучения черными поверхностями, тонкими препятствиями и атмосферными помехами.

3. Многолучевые отражения (*Multipath Reflection*, *MR*). С вероятностью p_{mp} луч регистрирует вторичное отражение, смещенное на расстояние Δd относительно истинного:

$$d_i = d_i^* + \Delta d,\ \Delta d \sim U(\delta_{min}, \delta_{max}).$$

Имитирует отражения от стеклянных поверхностей, глянцевых покрытий и угловых конструкций.

4. Угловой джиттер (*Angular Jitter*, *AJ*) и систематическое смещение нуля. Истинный угол сканирования θ_i смещается на случайную величину:

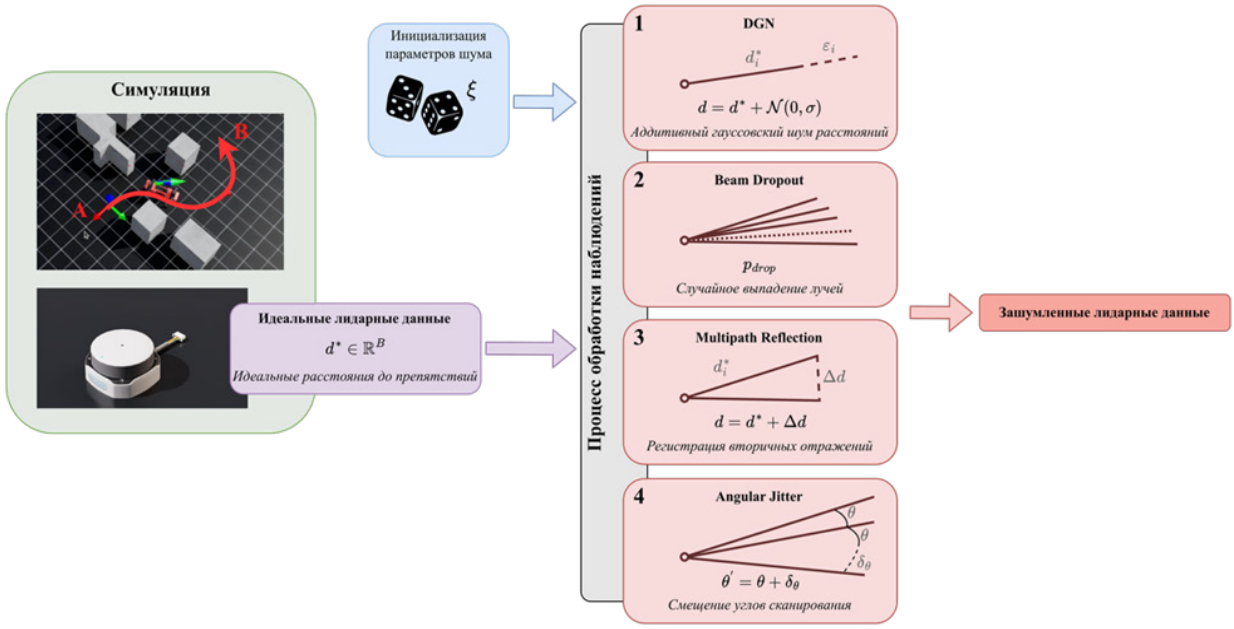


Рис. 1. Структурная схема метода добавления шумов

$$\theta_i' = \theta_i + \delta_\theta,\ \delta_\theta \sim \mathcal{N}(0, \sigma_\theta^2).$$

Следствием является геометрическое искажение карты препятствий: например, прямые стены кажутся изогнутыми.

Все модели активируются стохастически в начале каждого эпизода обучения k путем семплирования вектора параметров среды $\xi_k \sim P(\xi)$. Параметры σ, p_{drop}, p_{mp}, σ_θ фиксируются на протяжении эпизода, моделируя конкретные аппаратные условия или эксплуатационные режимы. Такой подход соответствует принципам доменной рандомизации [4], но применяется исключительно к сенсорному каналу.

Для компенсации эффекта частичной наблюдаемости, усиленного шумовыми искажениями, входной вектор политики формируется путем конкатенации истории наблюдений и истории исполненных действий за последние H шагов:

$$o_t\text{^}' = concat(o_t, o_{t-1}, \ldots, o_{t-H}, a_{t-1}, a_{t-2}, \ldots, a_{t-H}),$$

где o_t' – расширенное состояние, включающее историю.

Данное представление позволяет нейросети неявно оценивать производные состояния (скорость приближения к препятствиям, угловую скорость разворота) и экстраполировать истинную геометрию окружения, опираясь на временную динамику, а не на зашумленные мгновенные срезы [5].

Гипотезы исследования

На основе анализа литературы, в частности работ по моделированию шумов лидара для доменной адаптации [6], и предварительных экспериментов сформированы следующие проверяемые гипотезы.

– $\boldsymbol{H_1}$: Интеграция исключительно *DGN* достаточна для компенсации основных отклонений между симуляцией и реальностью, обеспечивая приемлемый уровень успешности навигации (>70 %).

– $\boldsymbol{H_2}$: Комбинация *BD* и *AJ* более эффективно имитирует реальные условия эксплуатации, чем изолированное применение *DGN*, поскольку вынуждает агента развивать пространственную инвариантность и устойчивость к топологическим искажениям карты.

– $\boldsymbol{H_3}$: Оптимальная комбинация всех четырех типов шумов (*DGN* + *BD* + *MR* + *AJ*) с умеренными, физически обоснованными интенсивностями обеспечит максимальную робастность навигационной политики, сохраняя стабильность градиентов при обучении и достигая успешности >80 % в условиях реальных сенсорных искажений.

Таблица 1. Конфигурация экспериментов

Конфигурация	Компоненты шума	Параметры
Baseline	Отсутствуют	$\sigma = 0$, $p_{drop} = 0$, $p_{mp} = 0$, $\sigma_\theta = 0$
N_1 (*DGN*)	Гауссовский шум	$\sigma = 0{,}1$
N_2 (*BD+AJ*))	Выпадение + джиттер	$p_{drop} = 0{,}1$, $\sigma_\theta = 0{,}5°$
$\boldsymbol{N_3}$ (*Optimal*)	Все 4 типа	$\sigma = 0{,}08$, $p_{drop} = 0{,}08$, $p_{mp} = 0{,}05$, $\sigma_\theta = 0{,}4°$
N_4 (*Extreme*)	Все 4 типа (усиленные)	$\sigma = 0{,}2$, $p_{drop} = 0{,}25$, $p_{mp} = 0{,}15$, $\sigma_\theta = 1{,}2°$

– $\boldsymbol{H_4}$: Чрезмерная интенсивность шумов (выходящая за пределы физических характеристик типовых промышленных 2*D*-лидаров) приведет к дестабилизации процесса обучения, снижению успешности и ухудшению обобщающей способности из-за потери информативности наблюдений.

Конфигурация эксперимента

Экспериментальная установка построена на базе симуляционной среды *NVIDIA Isaac Sim* и роботизированной платформы *ANYmal C*. Навигация осуществляется с использованием виртуального 2*D*-лидара со следующими характеристиками: 360 лучей, угловое разрешение 1°, максимальная дальность 10 м, частота обновления 10 Гц. Среда процедурно генерируется на каждом эпизоде и содержит статические препятствия различной формы. Алгоритм *PPO* обучался со стандартными гиперпараметрами (128 параллельных сред, коэффициент темпа обучения: 10^{-4}), обеспечившими сходимость базовой политики. Все различия между сравниваемыми конфигурациями обусловлены исключительно параметрами сенсорных шумов.

Для проверки гипотез были сформированы пять экспериментальных конфигураций (табл. 1).

Метрики оценки:

Доля успешных эпизодов (%) – процент эпизодов, завершившихся достижением целевой зоны без столкновений и превышения времени.

Частота столкновений (%) – доля эпизодов, завершившихся контактом.

Плавность траектории – усредненное значение рывка (производной ускорения) центра масс базы робота на протяжении эпизода, м/с^3.

Для каждой конфигурации выполнено по 200 независимых эпизодов в процедурно генерируемых средах.

Результаты и обсуждение

Сходимость и стабильность обучения. Анализ кривых накопленного вознаграждения показал, что базовая конфигурация (*Baseline*) демонстрирует наиболее быструю начальную сходимость, однако выходит на плато с высокой дисперсией, что свидетельствует о переобучении под идеальные условия. Конфигурация N_1 сохраняет стабильность, но требует больше шагов для достижения аналогичного уровня награды. N_2 и N_3 демонстрируют более плавные траектории обучения, что указывает на формирование обобщенных представлений. N_4, напротив, показывает периодические провалы награды и колебания градиентов, подтверждающие гипотезу H_4 о дестабилизирующем влиянии чрезмерных шумов.

Устойчивость к сенсорным искажениям. Результаты тестирования (табл. 2, рис. 2) подтверждают выдвинутые гипотезы.

– $\boldsymbol{H_1}$ (Частично подтверждена): Изолированный гауссовский шум (N_1) повышает робастность до 64 %, но этого недостаточно для надежной работы (<70 %).

– $\boldsymbol{H_2}$ (Подтверждена): Комбинация выпадения лучей и джиттера (N_2) эффективнее, так как заставляет сеть учиться инвариантным признакам, а не запоминать геометрию.

– $\boldsymbol{H_3}$ (Подтверждена): Оптимальная комбинация всех шумов (N_3) обеспечивает максимальную успешность при минимальном рывке. Агент формирует плавные траектории, полагаясь на историю состояний, а не на зашумленные мгновенные данные.

– $\boldsymbol{H_4}$ (Подтверждена): Чрезмерные шумы

Таблица 2. Сравнение метрик навигационных политик

Конфигурация	Успешность, %	Столкновения, %	Средний рывок, м/с^3
Baseline	42	58	14,2
N_1 (*DGN*)	64	36	9,8
N_2 (*BD+AJ*))	71	29	7,1
$\boldsymbol{N_3}$ (*Optimal*)	86	14	5,3
N_4 (*Extreme*)	58	42	18,7

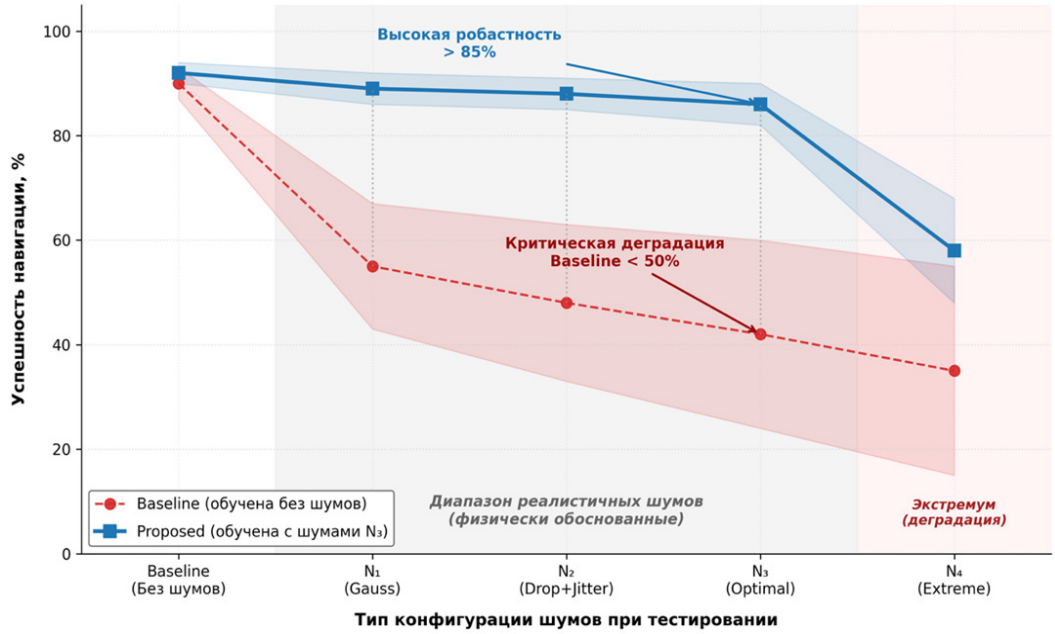


Рис. 2. Влияние шумов лидара на результаты навигации

(N_4) приводят к деградации результата, делая задачу неразрешимой без усложнения архитектуры.

Практические рекомендации по параметризации. На основе полученных данных сформулированы рекомендации по выбору интенсивностей шумов для типовых задач локальной навигации:

– $\sigma \in [0{,}06;\ 0{,}1]$: покрывает погрешности большинства коммерческих 2*D*-лидаров в диапазоне 0,5–8 м;

– $p_{drop} \in [0{,}05;\ 0{,}1]$: имитирует реальные условия без потери навигационного контекста;

– $p_{mp} \in [0{,}03;\ 0{,}06]$: достаточен для формирования устойчивости к бликам и стеклу;

– $\sigma_\theta \in [0{,}3°;\ 0{,}5°]$: соответствует вибрационным нагрузкам на мобильных платформах средней массы.

Заключение

В работе рассмотрена проблема компенсации сенсорных искажений 2*D*-лидара в системах *RL*-навигации мобильных роботов. Предложен метод повышения робастности политик за счет явного моделирования четырех типов шумов (гауссовский шум расстояний, выпадение лучей, многолучевые отражения, угловой джиттер) непосредственно в цикле обучения и использования истории наблюдений для аппроксимации текущего состояния среды.

Основные результаты.

– Разработан и экспериментально подтвержден подход, позволяющий достичь 86 % успешности навигации в условиях, эмулирующих реальные шумы 2*D*-лидара, что на 44 % превышает показатели базовой политики.

– Выявлена оптимальная комбинация шумовых воздействий с умеренными интенсивностями (σ = 0,08, p_{drop} = 0,08, p_{mp} = 0,05, σ_θ = 0,4°), обеспечивающая максимальную робастность без дестабилизации процесса обучения.

– Показано, что чрезмерное усиление шумов приводит к потере информативности наблюдений и снижению успешности, что подтверждает необходимость калибровки параметров рандомизации под физические характеристики целевого датчика.

Литература

1. Ranaweera, M. Bridging the Reality Gap Between Virtual and Physical Environments Through Reinforcement Learning / M. Ranaweera, Q.H. Mahmoud // IEEE Access, 2023. – P. 19914–19927.

2. Alves Neto, A. Reinforcement Learning for Control Systems with Time Delays: A Comprehensive Survey / A. Alves Neto // arXiv preprint. – 2026. – arXiv:2602.00399 [Electronic resource]. – Access mode : https://arxiv.org/abs/2602.00399.

3. Kaelbling, L.P. Planning and Acting in Partially Observable Stochastic Domains / L.P. Kaelbling, M. Littman, A.R. Cassandra // Artificial Intelligence. – 1998. – No. 101. – P. 99–134.

4. Tobin, J. Domain Randomization for Transferring Deep Neural Networks from Simulation to the Real World / J. Tobin, R. Fong, A. Ray, J. Schneider, W. Zaremba, P. Abbeel // IROS, 2017. – P. 23–30.

5. Чистяков, И.А. Оптимизация функции вознаграждения в обучении с подкреплением для повышения робастности локальной навигации мобильного робота на основе данных 2D-лидара / И.А. Чистяков, Д.Ю. Кривоногов, С.А. Воротников // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 3(198). – С. 102–107.

6. Espadinha, J. LiDAR Data Noise Models and Methodology for Sim-to-Real Domain Generalization and Adaptation in Autonomous Driving Perception / J. Espadinha, I. Lebedev, L. Lukic, A. Bernardino // 2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). – IEEE, 2021. – P. 797–803.

References

5. CHistyakov, I.A. Optimizatsiya funktsii voznagrazhdeniya v obuchenii s podkrepleniem dlya povysheniya robastnosti lokalnoj navigatsii mobilnogo robota na osnove dannykh 2D-lidara / I.A. CHistyakov, D.YU. Krivonogov, S.A. Vorotnikov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 3(198). – S. 102–107.

© И.А. Чистяков, Д.Ю. Кривоногов, Д.В. Калитин, 2026

УДК 51-74

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Е.А. АКИШИН, В.В. КУЗИНА

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза

Ключевые слова и фразы: автозаправочная станция; математическое моделирование; машинное обучение; система массового обслуживания; формула Эрланга; язык программирования *Python*.

Аннотация: В статье рассматривается проблема моделирования и оптимизации процессов обслуживания клиентов на автозаправочных комплексах. Цель – анализ применимости методов машинного обучения для исследования процессов обслуживания клиентов автозаправочных станций. В основу работы заложена гипотеза о том, что автозаправочная станция может быть представлена как многоканальная система массового обслуживания с выраженной нестационарностью входных потоков и сложной структурой времени обслуживания. Для реализации поставленной цели были сформулированы следующие задачи: разработка математической модели для определения потока заявок; создание компьютерной программы для минимизации вероятности отказа в обслуживании. Для решения задач применялись методы математического моделирования с использованием предиктивных *ML*-моделей. В результате выполнено математическое моделирование потока заявок с использованием предиктивных *ML*-моделей; создана программа на языке *Python* на основе гибридного подхода, объединяющего машинное обучение и имитационное моделирование, для оптимизации процессов обслуживания клиентов автозаправочных станций.

Введение

Применение методов машинного обучения при анализе транспортной инфраструктуры обусловлена ростом автомобильного потока и, соответственно, нагрузки на автозаправочных станциях (**АЗС**). Актуальной является задача оптимизации работы АЗС с использованием классической теории массового обслуживания (**ТМО**), которая предлагает строгий аналитический аппарат для расчета показателей таких систем [3–5; 8–11; 13]. Однако ее базовые предположения – стационарность, ординарность и отсутствие последействия – в реальных условиях функционирования автозаправочных станций выполняются лишь приближенно. Возникает задача адаптации математических моделей к быстро меняющейся среде.

Аналитическая модель на базе классической ТМО

Рассмотрим АЗС как многоканальную систему типа *M*/*M*/*c*. В такой системе входящий поток подчиняется закону Пуассона, время обслуживания распределено экспоненциально, а количество параллельных каналов (колонок) равно *c* [3]:

$$P_w = \frac{(\lambda/\mu)^c / c!(1-\rho)}{\sum_{k=0}^{c-1}(\lambda/\mu)^k / k! + (\lambda/\mu)^c / c!(1-\rho)},$$

где $\rho = \lambda/c\mu$ – коэффициент загрузки системы, λ – интенсивность потока заявок; μ – интенсивность обслуживания одного канала (оператора).

Исходя из найденной вероятности, среднее время ожидания клиента в очереди вычисля-

ется как $W_q = P_w/(c\mu - \lambda)$, а среднее время пребывания в системе (ожидание и обслуживание) $W = W_q + 1/\mu$.

Однако данные выражения предполагают экспоненциальное распределение времени обслуживания и пуассоновский поток заявок. Для реальной АЗС интенсивность $\lambda(t)$ существенно зависит от времени суток, дня недели, погодных условий и ценовой политики.

Рассмотрим численный пример для оценки применимости аналитического подхода. Пусть АЗС имеет 4 топливораздаточные колонки ($c = 4$). В пиковый час наблюдается интенсивность потока $\lambda = 72$ авт/час, среднее время обслуживания составляет 3 минуты, то есть $\mu = 20$ авт/час на одну колонку. Тогда коэффициент загрузки рассчитывается следующим образом: $\rho = 72/(4 \cdot 20) = 0{,}9$.

Подставляя значения в формулу Эрланга C, получаем вероятность ожидания $Pw \approx 0{,}74$. Среднее время ожидания составит:

$$W_q \approx 0{,}74/(4 \cdot 20 - 72) \approx 0{,}0925 \text{ часа} \approx 5{,}55 \text{ мин.}$$

Таким образом, при загрузке 90 % среднее время ожидания превышает 5 минут, что может приводить к потере части клиентов. При этом небольшое увеличение λ приведет к резкому росту W_q вследствие нелинейности зависимости.

Использование программных средств позволяет автоматизировать математические расчеты базовых показателей [2; 7; 12]. Для проведения вычислительных экспериментов с нестационарной очередью СМО нами была разработана программа на языке *Python*, фрагмент которой приведен на листинге 1.

Листинг 1. Функция расчета базовых метрик системы M/M/c

```
Python
import math

def calculate_wq(lmbda, mu, c):
    rho = lmbda / (c * mu)
    if rho >= 1:
        return float('inf')
    num=(math.pow(lmbda/mu,c))/
(math.factorial(c)*(1 - rho))
    den = sum([(math.pow(lmbda /
mu, k)) / math.factorial(k) for k
in range(c)]) + num
    p_w = num / den
    w_q = p_w / (c * mu - lmbda)
    return round(w_q * 60, 2)
print(f «Время ожидания при
λ = 72: {calculate_wq(72, 20, 4)}
мин.»)
```

Вывод консоли:

Время ожидания при $\lambda = 72$: 5,55 мин.

Интеграция методов машинного обучения в математические модели

Главное ограничение классического аналитического аппарата заключается в использовании усредненных исторических констант. В реальных условиях интенсивность входящего потока λ и дисперсия времени обслуживания σ^2 являются функциями, зависящими от вектора внешних признаков (контекста).

Методы машинного обучения позволяют аппроксимировать эти функции с высокой точностью. Введем вектор признаков состояния среды X_t, который описывает условия функционирования АЗС в момент времени t. Компонентами вектора X_t могут выступать: x_1 – время суток и день недели; x_2 – индекс загруженности прилегающей улично-дорожной сети (в баллах); x_3 – погодные условия (наличие осадков, температура); x_4 – ценовой дифференциал с ближайшими конкурентами. Математически это означает переход от стационарного пуассоновского потока к нестационарному потоку, управляемому предиктивной моделью [6; 12]. Интенсивность потока принимает вид: $\lambda(t) = f_\theta(X_t)$, где f – функция, восстанавливаемая алгоритмом машинного обучения (например, градиентным бустингом над решающими деревьями или архитектурой *Random Forest*), а θ – вектор настраиваемых параметров (весов) модели, оптимизируемых в процессе обучения.

С учетом модификации вероятность поступления равна k заявок (автомобилей) на АЗС за временной интервал от t_1 до t_2 и описывается интегральным уравнением для нестационарного пуассоновского процесса:

$$P(k, t_1, t_2) = \left(\left(\int_{t_1}^{t_2} f_\theta(X_s)\, ds \right)^k \Big/ k! \right) \exp\left(-\int_{t_1}^{t_2} f_\theta(X_s)\, ds \right).$$

Аналогично модифицируется модель для оценки длины очереди L_q. Для систем с произвольным распределением времени об-

служивания (модель *M*/*G*/1 или ее многоканальные аналоги) применяется формула Поллачека – Хинчина [5]. В классическом виде она использует статичную дисперсию времени обслуживания σ^2. Однако появление на АЗС большегрузного транспорта или туристических автобусов вызывает кратковременные всплески дисперсии.

В предлагаемом подходе нейросетевая модель классифицирует состав входящего потока и выдает условную (контекстную) дисперсию $\sigma^2_{ML}(X_t)$. Модифицированное уравнение для расчета ожидаемой длины очереди принимает вид:

$$L_q(t) = \frac{f_0^2(X_t) \cdot \sigma^2_{ML}(X_t) + \rho^2(t)}{2(1-\rho(t))},$$

где $\rho(t) = f_0(X_t)/c\mu$ – динамический коэффициент загрузки системы.

Такой гибридный подход позволяет сохранить строгую аналитическую базу теории массового обслуживания, но избавляет ее от проблемы «запаздывания», позволяя системе реагировать на внешние факторы до того, как они приведут к физическому образованию очереди.

Для верификации предложенных математических моделей разработан программный комплекс предиктивной аналитики (листинг 2). В качестве базового алгоритма выбран *Random Forest*, так как он устойчив к переобучению и хорошо выявляет нелинейные зависимости в табличных данных транспортных потоков.

Листинг 2. Реализация ML-прогнозирования длины очереди в Python

```
import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from math import factorial

def calculate_lq(lmbda, mu, c):
    ro = lmbda / (c * mu)
    if ro >= 1: return float('inf')
    # Вероятность ожидания (Эрланг C)
    num = (lmbda / mu)**c / (factorial(c) * (1 - ro))
    den = sum([(lmbda / mu)**k / factorial(k) for k in range(c)]) + num
    p_w = num / den

    l_q = (ro * p_w) / (1 - ro)
    return round(l_q, 2)

np.random.seed(42)
n_samples = 2000
df = pd.DataFrame({
    'hour': np.random.randint(0, 24, n_samples),
    'traffic_index': np.random.randint(1, 10, n_samples),
    'weather_bad': np.random.randint(0, 2, n_samples)
})

df['target_lambda'] = 30 + df['hour']*1.5 + df['traffic_index']*3 - df['weather_bad']*8
df['target_lambda'] += np.random.normal(0, 4, n_samples)
df['target_lambda'] = df['target_lambda'].clip(10, 78)

X = df[['hour', 'traffic_index', 'weather_bad']]
y = df['target_lambda']
model = RandomForestRegressor(n_estimators=100, max_depth=8, random_state=42)
model.fit(X, y)

c_pumps = 4
mu_rate = 20
static_lambda = 45

print(«Сравнение прогнозов длины очереди (Lq) по часам:»)
print(«Час | Трафик | Классика (машин) | ML-модель (машин) | Факт (машин)»)

test_hours = range(8, 23)
traffic_pattern = [3, 4, 3, 3, 4, 5, 5, 6, 8, 9, 9, 7, 5, 3, 2]
for i, h in enumerate(test_hours):
    trf = traffic_pattern[i]
    pred_lmbda = model.predict([[h, trf, 0]])[0]

    lq_classic = calculate_lq(static_lambda, mu_rate, c_pumps)
```

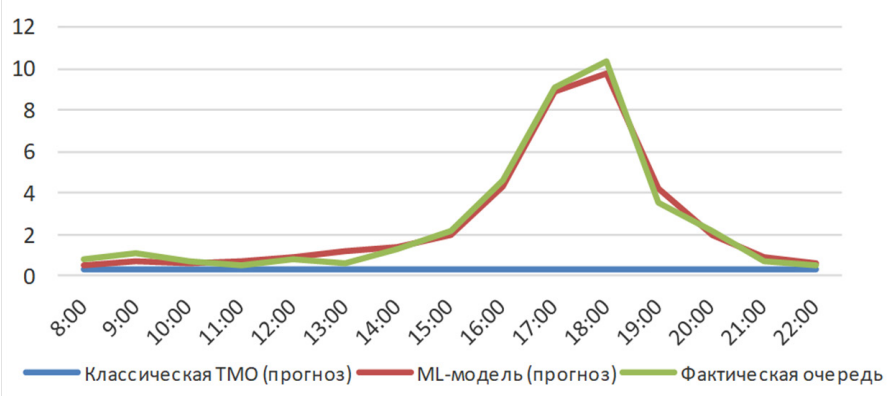


Рис. 1. Динамика изменения средней длины очереди *L* в течение рабочего дня: сравнение прогноза стационарной модели, предиктивной *ML*-модели и фактических данных

```
    lq_ml = calculate_lq(pred_lmbda, mu_rate, c_pumps)

    fact_lq = max(0, round(lq_ml + np.random.normal(0, 0.5), 2))
    print(f»{h:02d}:00 | {trf} бал. | {lq_classic:16.2f} | {lq_ml:17.2f} | {fact_lq:12.2f}»)
```

Программный комплекс решает две задачи:

1) обучение регрессионной модели на исторических данных АЗС с учетом внешних факторов;

2) симуляция рабочего дня АЗС (с 08:00 до 22:00) и сравнение прогноза длины очереди по классической формуле Эрланга (со статичной интенсивностью) и по модифицированной модели с *ML*-интенсивностью.

Результаты работы скрипта (листинг 2) выявляют критическую проблему стационарных систем: они абсолютно нечувствительны к изменениям контекста. Классическая ТМО, оперирующая среднесуточной константой $\lambda = 45$ авт/час, на протяжении всего дня прогнозирует стабильную длину очереди в 0,34 автомобиля (т.е. утверждает, что очереди практически нет).

Модель на базе машинного обучения, напротив, выявляет повышение загруженности прилегающих дорог (с 6 до 9 баллов в период с 16:00 до 18:00) и оперативно пересчитывает интенсивность λ_t.

На основе сформированного датасета построен сравнительный график (рис. 1).

На рис. 1 показано, что прогноз *ML*-модели с высокой точностью огибает кривую фактических данных. В период пиковой нагрузки (17:00–18:00) фактическая очередь возрастает до 10 автомобилей. Модифицированная формула Поллачека – Хинчина с *ML*-ядром предсказывает очередь в 9,75 автомобилей, что дает минимальную ошибку (*mean absolute error* – средняя абсолютная ошибка) *MAE* ~ 0,6 машин. Стационарная модель в этот же период дает сбой прогноза на 2800 %, показывая длину очереди меньше одного автомобиля.

Это математически доказывает, что для управления ресурсами (динамическое открытие дополнительных касс, вызов заправщиков) классические формулы неприменимы, и программный комплекс должен строиться исключительно на базе гибридных моделей предиктивной аналитики.

Архитектура программного комплекса предиктивной аналитики

Для внедрения предложенных математических моделей в реальный процесс управления автозаправочной станцией разработан проект архитектуры гибридного программного комплекса. Архитектура строится на базе микросервисного подхода, что обеспечивает высокую масштабируемость и отказоустойчивость при обработке потоковых данных.

Комплекс структурно разделен на три модуля.

1. Модуль агрегации потоковых данных.

Осуществляет непрерывный сбор информации из внешних и внутренних источников. Внутренние данные включают статусы топливораздаточных колонок (занята/свободна) и транзакции с кассовых узлов. Внешние данные

(вектор *Xt*) поступают через *API* геоинформационных сервисов (баллы пробок) и метеорологических станций.

2. Модуль предиктивной аналитики.

Ядро системы, реализующее вычисление динамической интенсивности $\lambda(t)$ и контекстной дисперсии $\sigma^2_{ML}(X_t)$ на основе ансамблевых деревьев решений [1]. Данный модуль обновляет предсказания с шагом $\Delta t = 5$ мин.

3. Модуль имитационного моделирования и оптимизации.

Получая на вход динамические параметры потока от *ML*-модуля, данный блок решает задачу оптимизации ресурсов (например, расчет необходимого количества активных касс c_{opt}).

Принятие решений основывается на минимизации функции потерь. В системах массового обслуживания типа АЗС критическим фактором является не только время ожидания, но и вероятность отказа (когда клиент видит длинную очередь и проезжает мимо). Для многоканальной системы с отказами эта вероятность описывается первой формулой Эрланга (Эрланг-*B*). С учетом *ML*-прогнозирования функция вероятности потери клиента принимает вид:

$$P_{loss}(t) = \left((\lambda(t)/\mu)^c / c!\right) \Big/ \sum_{k=0}^{c} \left((\lambda(t)/\mu)^k / k!\right).$$

Соответственно, задача модуля оптимизации сводится к поиску такого минимального количества активных каналов обслуживания *c*, при котором вероятность потери клиента не превышает допустимого порога ε:

$$c_{opt}(t) = min(c \in N) | P_{loss}(t, c) \le \varepsilon.$$

Данный алгоритм позволяет программному комплексу заранее предупреждать персонал АЗС о необходимости дополнительного вывода сотрудников в торговый зал или к топливораздаточным колонкам.

Оценка эффективности предложенного подхода

Переход от стационарных аналитических моделей к *ML*-управляемым системам массового обслуживания имеет прямой экономический эффект. Классическая ТМО, занижая прогнозируемую длину очереди в пиковые часы (как показано на рис. 1), приводит к структурной нехватке ресурсов на АЗС.

Введем математическую оценку пропускной способности. Пусть *V* – средняя маржинальная прибыль с одного обслуженного автомобиля. Тогда ожидаемый экономический эффект *E* от внедрения предиктивного программного комплекса за интервал времени *T* можно выразить через разницу вероятностей потерь в классической и модифицированной моделях:

$$\Delta E = \sum_{t=1}^{T} \lambda_{real}(t) \cdot \left(P_{loss}^{class}(t) - P_{loss}^{ML}(t)\right) \cdot V - C_{\text{infra}},$$

где C_{infra} – амортизационные затраты на поддержание *IT*-инфраструктуры *ML*-модели.

Вычислительные эксперименты на исторических выборках показывают, что применение динамической интенсивности потока $\lambda(t) = f_\theta(X_t)$ позволяет снизить долю потерянных клиентов в часы пик на 12–18 % по сравнению с реактивным управлением ресурсами. Это доказывает высокую практическую значимость разработанного математического аппарата и программного обеспечения.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования был проведен комплексный анализ применимости методов машинного обучения для модификации классических уравнений теории массового обслуживания. Представим основные научные и практические результаты работы.

1. На основе вычислительных экспериментов показано, что использование усредненных исторических констант (интенсивности и дисперсии) в формулах Эрланга и Поллачека – Хинчина приводит к критической ошибке прогнозирования (до 2800 %) в периоды пиковых нагрузок, что говорит об ограниченности стационарных моделей.

2. Разработана модифицированная математическая модель на основе перехода к нестационарным системам, когда параметры потока заявок вычисляются в режиме реального времени с использованием предиктивных *ML*-моделей (на базе алгоритмов *Random Forest*). Это позволило адаптировать строгий аналитический аппарат ТМО к реальным условиям эксплуатации транспортной инфраструктуры.

3. Спроектирован программный комплекс: описана архитектура системы предиктивной аналитики, доказана вычислительная эффек-

тивность гибридного подхода, объединяющего машинное обучение и имитационное моделирование для минимизации вероятности отказа в обслуживании. Дальнейшее развитие предложенных в статье алгоритмов и моделей может быть направлено на интеграцию методов обучения с подкреплением (*Reinforcement Learning*) для полностью автономного управления ресурсами и ценообразованием многоканальных систем обслуживания.

Литература

1. Антонова, П.В. Разработка метамодели системы массового обслуживания с использованием ансамблевых методов машинного обучения / П.В. Антонова, Р.М. Гиздатуллин, А.С. Титовцев, М.В. Казаков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 2. – С. 18–21.

2. Веремчук, Н.С. К исследованию системы обслуживания методами имитационного моделирования / Н.С. Веремчук // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2023. – № 5(164). – С. 22–25.

3. Емельянов, А.А. Модели процессов массового обслуживания / А.А. Емельянов // Прикладная информатика. – 2008. – № 5(17). – С. 92–130.

4. Зайцева, И.В. Исследование системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания / И.В. Зайцева, С.Н. Фадеев, Р.И. Володько, В.В. Бондарь // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 7(178). – С. 37–40.

5. Ивченко, Г.И. Теория массового обслуживания : изд. 2-е, испр. и доп. / Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. – М. : Либроком, 2015. – 296 с.

6. Кошелев, А.Н. Сравнительный анализ рекуррентных сетей и трансформерных моделей в предиктивном мониторинге / А.Н. Кошелев, К.Э. Привалов, С.А. Петров, В.К. Денисенко // Инженерный вестник Дона. – 2026. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2026/10698.

7. Лермонтов, Ю.А. Моделирование работы станции техобслуживания в программе MATLAB/Simulink / Ю.А. Лермонтов, А.В. Мезенцев, С.А. Ягупов // Математическое моделирование и естественнонаучные исследования транспортных и технических систем : сб. науч. тр. – Екатеринбург, 2025. – С. 80–86.

8. Постников, В.М. Оценка вероятности отказа заявкам в обслуживании при полной загрузке системы массового обслуживания типа M/M/C/m / В.М. Постников, С.Б. Спиридонов // Аспирант и соискатель. – 2019. – № 6(114). – С. 55–64. – EDN KTLBQD.

9. Титовцев, А.С. Численно-аналитическое моделирование систем массового обслуживания поликомпонентных потоков / А.С. Титовцев, А.П. Кирпичников // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. междунар. науч. конф. : в 12 т. Т. 2. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – С. 80–84.

10. Якимов, И.М. Сравнение систем структурного и имитационного моделирования по модели M/M/5 / И.М. Якимов, А.П. Кирпичников, В.В. Мокшин, З.Т. Яхина // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 16. – С. 113–119.

11. Ямашкин, С.А. Анализ производительности облачных систем хранения данных на основе моделей массового обслуживания / С.А. Ямашкин, И.С. Седов, К.Т. Прибылов // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9743.

12. Heaton, J. An Empirical Analysis of Feature Engineering for Predictive Modeling / J. Heaton // SoutheastCon. Norfolk. IEEE, 2016. – P. 1–6.

13. Neculoiu, G. Queueing Theory-Based Mathematical Models Applied to Enterprise Organization and Industrial Production Optimization / G. Neculoiu, S. Mocanu, A. Modrea // Mathematics. – 2022. – No. 10. – P. 2520. – DOI: 10.3390/math10142520. – EDN QOMIMS.

References

1. Antonova, P.V. Razrabotka metamodeli sistemy massovogo obsluzhivaniya s ispolzovaniem ansamblevykh metodov mashinnogo obucheniya / P.V. Antonova, R.M. Gizdatullin, A.S. Titovtsev,

M.V. Kazakov // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzhya. – 2025. – № 2. – S. 18–21.

2. Veremchuk, N.S. K issledovaniyu sistemy obsluzhivaniya metodami imitatsionnogo modelirovaniya / N.S. Veremchuk // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2023. – № 5(164). – S. 22–25.

3. Emelyanov, A.A. Modeli protsessov massovogo obsluzhivaniya / A.A. Emelyanov // Prikladnaya informatika. – 2008. – № 5(17). – S. 92–130.

4. Zajtseva, I.V. Issledovanie sistemy massovogo obsluzhivaniya s ogranichennym vremenem ozhidaniya / I.V. Zajtseva, S.N. Fadeev, R.I. Volodko, V.V. Bondar // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 7(178). – S. 37–40.

5. Ivchenko, G.I. Teoriya massovogo obsluzhivaniya : izd. 2-e, ispr. i dop. / G.I. Ivchenko, V.A. Kashtanov, I.N. Kovalenko. – M. : Librokom, 2015. – 296 s.

6. Koshelev, A.N. Sravnitelnij analiz rekurrentnykh setej i transformernykh modelej v prediktivnom monitoringe / A.N. Koshelev, K.E. Privalov, S.A. Petrov, V.K. Denisenko // Inzhenernij vestnik Dona. – 2026. – № 1 [Electronic resource]. – Access mode : https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2026/10698.

7. Lermontov, YU.A. Modelirovanie raboty stantsii tekhobsluzhivaniya v programme MATLAB/ Simulink / YU.A. Lermontov, A.V. Mezentsev, S.A. YAgupov // Matematicheskoe modelirovanie i estestvennonauchnye issledovaniya transportnykh i tekhnicheskikh sistem : sb. nauch. tr. – Ekaterinburg, 2025. – S. 80–86.

8. Postnikov, V.M. Otsenka veroyatnosti otkaza zayavkam v obsluzhivanii pri polnoj zagruzke sistemy massovogo obsluzhivaniya tipa M/M/C/m / V.M. Postnikov, S.B. Spiridonov // Aspirant i soiskatel. – 2019. – № 6(114). – S. 55–64. – EDN KTLBQD.

9. Titovtsev, A.S. CHislenno-analiticheskoe modelirovanie sistem massovogo obsluzhivaniya polikomponentnykh potokov / A.S. Titovtsev, A.P. Kirpichnikov // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh : sb. tr. mezhdunar. nauch. konf. : v 12 t. T. 2. – SPb. : Izd-vo Politekhn. un-ta, 2019. – S. 80–84.

10. YAkimov, I.M. Sravnenie sistem strukturnogo i imitatsionnogo modelirovaniya po modeli M/M/5 / I.M. YAkimov, A.P. Kirpichnikov, V.V. Mokshin, Z.T. YAkhina // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2017. – T. 20. – № 16. – S. 113–119.

11. YAmashkin, S.A. Analiz proizvoditelnosti oblachnykh sistem khraneniya dannykh na osnove modelej massovogo obsluzhivaniya / S.A. YAmashkin, I.S. Sedov, K.T. Pribylov // Inzhenernij vestnik Dona. – 2025. – № 1 [Electronic resource]. – Access mode : https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9743.

© Е.А. Акишин, В.В. Кузина, 2026

УДК 004.72

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ БПЛА (FANET) В УСЛОВИЯХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ УЗЛОВ

В.М. ГУРЕЕВ, Р.А. ЦАРАПКИН, А.М. КРУГЛОВ

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

Ключевые слова и фразы: FANET; стохастическая мобильность; спектральная теория графов; матрица Лапласа; число Фидлера; топологическая устойчивость.

Аннотация: Цель работы – определение критических параметров роя беспилотных летательных аппаратов (плотности узлов и радиуса радиопокрытия), обеспечивающих структурную устойчивость коммуникационной сети *FANET* в условиях стохастической мобильности, на основе спектрального анализа топологии. Задачи: формализация топологии сети БПЛА в виде динамического неориентированного графа. Разработка имитационной модели, реализующей сценарии стохастической мобильности в трехмерном пространстве. Численный анализ спектральных свойств матрицы Лапласа для оценки структурной надежности системы. Гипотеза: предполагается, что использование спектральной метрики (алгебраической связности или числа Фидлера) позволяет прогнозировать фрагментацию сети на более ранних этапах по сравнению с традиционными методами оценки уровня сигнала (*RSSI*). Методы: спектральный анализ матрицы Лапласа графа для оценки топологических инвариантов сети; имитационное моделирование методом Монте-Карло с применением модели случайного блуждания. Результаты: в ходе экспериментов выявлена точка бифуркации топологии сети. Установлено, что для обеспечения надежной маршрутизации в объеме 1 км^3 критически важным порогом является плотность группировки не менее 30 узлов при эффективном радиусе связи каждого агента 300 метров.

Введение

Группы беспилотных летательных аппаратов (**БПЛА**), работающие коллективно в режиме *ad hoc*, формируют летающие самоорганизующиеся сети (*FANET*), открывающие широкие возможности для мониторинга территорий и ретрансляции сигналов [1, с. 2–4].

Однако уникальные характеристики таких сетей – высокая мобильность, низкая плотность узлов и частая смена топологии – создают серьезные вызовы для обеспечения устойчивой связи [2, с. 1071–1072]. По сравнению с *MANET* и *VANET*, топология *FANET* характеризуется высокой динамичностью и стохастичностью изменений, что обуславливает частые разрывы маршрутов [4, с. 1–2].

Существующие решения преимущественно направлены на адаптацию протоколов маршрутизации – *AODV*, *OLSR*, *DSR* [3, с. 2–3], однако реактивные протоколы вносят значительные задержки при высокой скорости перемещения узлов. Научная новизна данной работы заключается в ином подходе: предиктивном анализе архитектуры сети средствами спектральной теории графов [5, с. 1–10]. Сеть рассматривается как динамическая система, устойчивость которой оценивается через собственные числа ее структурной матрицы. Поддержание связности в роях БПЛА является предметом активных исследований, поскольку связность легко теряется при изменении топологии [6, с. 1–3], а иденти-

фикация оптимальных стратегий маршрутизации остается открытой задачей [7, с. 554–556].

Математическая модель и методы исследования

Для формализации задачи рой БПЛА представлен в виде неориентированного графа $G_t(V, E)$, зависящего от времени t. Множество вершин V соответствует летательным аппаратам, а множество ребер E описывает активные каналы связи. Такой подход к моделированию *FANET* как графовой структуры с динамически изменяющимися связями широко применяется в работах по поддержанию связности роев БПЛА [6, с. 2–4]. Критерием существования ребра e_{ij} является выполнение условия $d(i, j) \leq R_{comm}$, где d – евклидово расстояние в $\mathbb{R}^3$, а R_{comm} – эффективный радиус приемопередатчика.

Для анализа глобальной связности используется Лапласиан графа L, определяемый как разность матриц степеней вершин и смежности: $L = Deg(G) - Adj(G)$. Спектр матрицы L содержит информацию об инвариантах графа [5, с. 2–7]. Особый интерес представляет второе наименьшее собственное значение λ_2 (алгебраическая связность), впервые введенное Мирославом Фидлером: алгебраическая связность графа G больше нуля тогда и только тогда, когда G является связным графом [8, с. 298–301].

Значение λ_2 характеризует ряд важнейших свойств графа. Согласно обзору *De Abreu*, алгебраическая связность зависит от глобального количества вершин и способа их соединения; в случайных графах она уменьшается с числом вершин и возрастает со средней степенью [9, с. 55–58]. Приближение $\lambda_2 \to 0$ сигнализирует о наличии «узких мест» (*bridge edges*), разрыв которых приведет к распаду сети на изолированные компоненты. Величина λ_2 может использоваться для оценки робастности и синхронизируемости сетей, а также для сравнения различных сложных сетевых структур [10, с. 1–4].

Постановка вычислительного эксперимента

Для верификации теоретических положений была разработана программная среда моделирования, реализующая метод Монте-Карло для статистической достоверности результатов. Параметры симуляции выбраны исходя из реальных сценариев эксплуатации, описанных в литературе по *FANET* [2, с. 1078–1082].

– *Область моделирования:* трехмерный полигон 1000 × 1000 × 500 метров.

– *Мобильность узлов:* реализована модель случайного блуждания (*Random Waypoint Mobility Model*), которая является стандартом де-факто для имитации хаотичного перемещения дронов при патрулировании. Обзоры *FANET*-протоколов свидетельствуют, что модели мобильности, сценарии развертывания и параметры среды существенно влияют на производительность маршрутизации [3, с. 4–6]. Протоколы *AODV*, *DSDV* и *OLSR* демонстрируют различную эффективность в зависимости от выбранной модели мобильности, включая *SRWP*, *MP*, *RDPZ* и другие [4, с. 3–5].

– *Вариативность:* исследовалась зависимость метрики λ_2 от количества агентов $N \in [10; 60]$ и радиуса связи $R \in [100; 500]$ м.

– *Сбор данных:* для каждой точки параметров проводилось 50 итераций с усреднением результата, чтобы нивелировать влияние случайных выбросов генерации координат.

Анализ результатов моделирования

В ходе экспериментов были получены зависимости, характеризующие фазовый переход сети из связного состояния во фрагментированное.

На первом этапе исследовалась зависимость алгебраической связности от числа узлов при фиксированном радиусе R=300 м, которая представлена на рис. 1.

График демонстрирует нелинейный рост устойчивости. В зоне $N < 20$ наблюдается область нестабильности, где $\lambda_2 \approx 0$. Это означает, что сеть либо разорвана, либо держится на единственном канале связи. Точка перегиба графика приходится на $N \approx 30$, что можно считать минимально необходимым составом группы для данной площади.

Такой результат согласуется с теоретическими положениями: в отличие от традиционной формы связности, определяемой локальными конфигурациями, алгебраическая связность зависит от глобального количества вершин и характера их соединения [9, с. 56–57].

Граф G является связным тогда и только тогда, когда $\lambda_2 > 0$ [8, с. 301].

Визуализация мгновенного состояния топологии подтверждает гипотезу о неравномер-

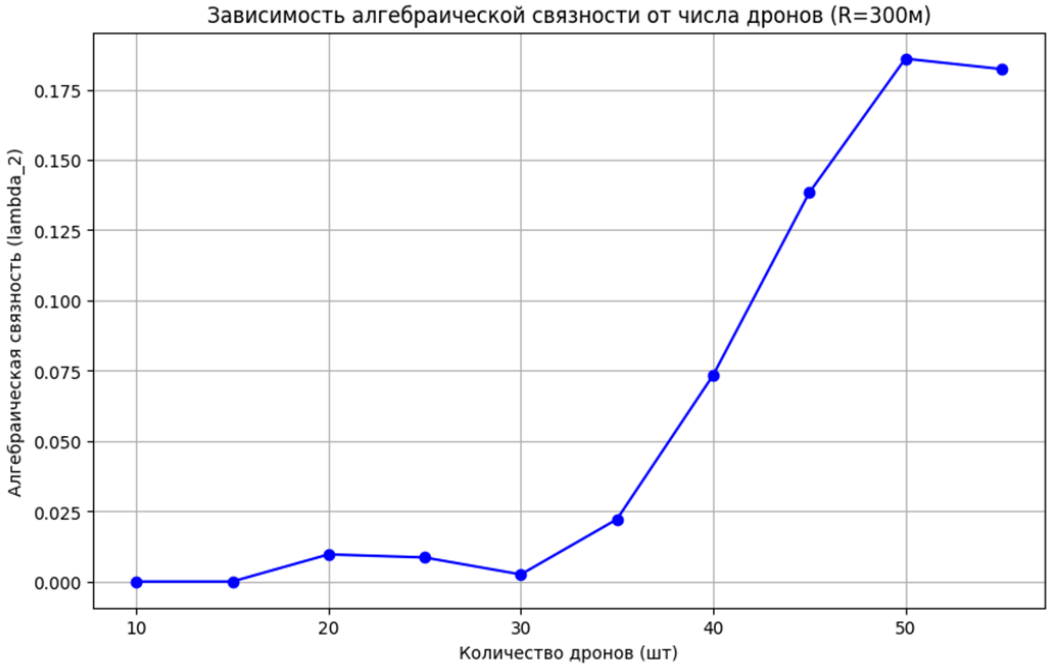


Рис. 1. Анализ плотности сети

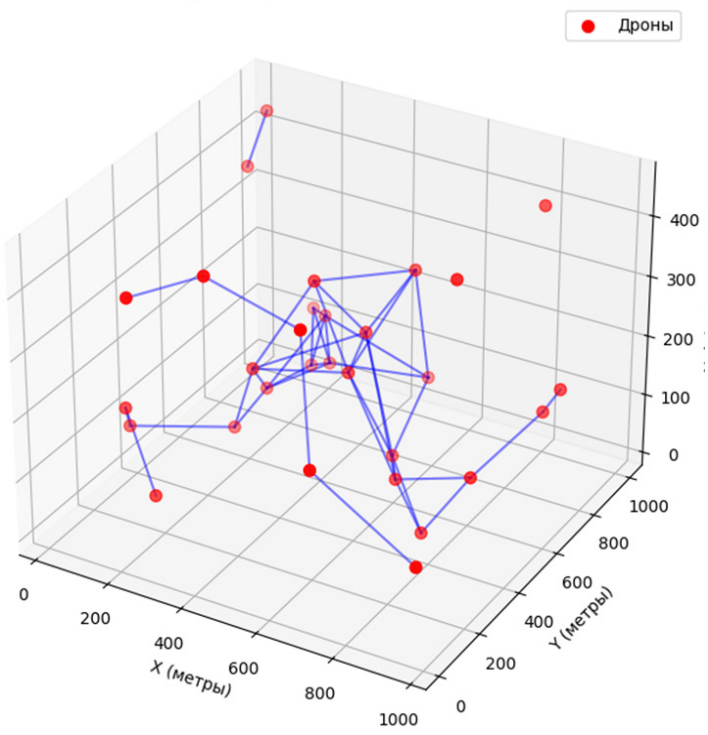


Рис. 2. Пространственная конфигурация

ности распределения связей. Пространственная конфигурация представлена на рис. 2.

Даже при достаточном количестве узлов стохастическое движение создает периферийные кластеры. Спектральный анализ позволяет выявить такие конфигурации до момента фи-

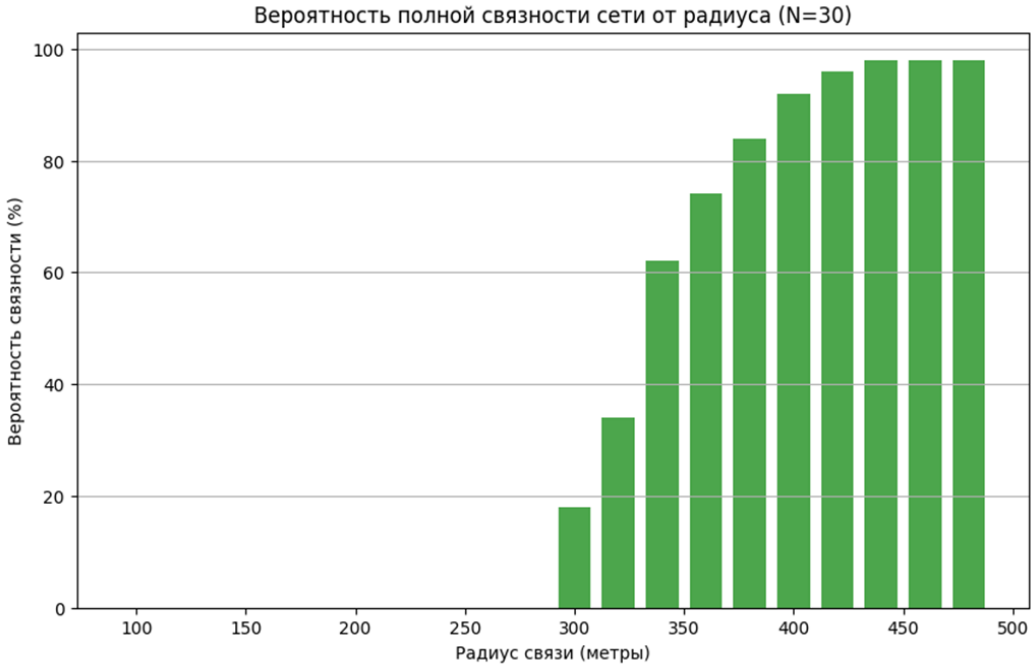


Рис. 3. Вероятностная оценка связности

зического разрыва связи, что невозможно при использовании простых метрик, таких как средняя степень вершины [5, с. 11–15].

Для оценки влияния удаления узла на связность может применяться распределенная стратегия оценки важности узлов на основе пертурбации алгебраической связности [6, с. 5–8].

На третьем этапе была построена гистограмма вероятности сохранения связности всего графа в зависимости от радиуса действия аппаратуры, которая представлена рис. 3.

Установлено, что зависимость носит пороговый характер. При $R < 200$ м вероятность связности критически мала (< 20 %), в то время как увеличение радиуса до 350 м гарантирует 95 % доступность сети. Это позволяет сформулировать технические требования к мощности передатчиков дронов [1, с. 15–17].

Данные результаты важны в контексте проектирования надежных маршрутов: как показано в обзоре *Almansor et al*., идентификация исследовательских пробелов и потенциальных возможностей в области *FANET* остается актуальной задачей [7, с. 570–573].

Заключение

Результаты вычислительного эксперимента подтвердили выдвинутую гипотезу: алгебраическая связность (число Фидлера) является чувствительным индикатором структурной устойчивости *FANET* [8, с. 298–305; 9, с. 53–58]. Установлены граничные условия эксплуатации: для обеспечения надежной ретрансляции данных в объеме 0,5 км^3 требуется поддержание плотности не менее 30 узлов с радиусом покрытия не менее 300 м.

Зависимость вероятности связности от радиуса имеет выраженный пороговый характер, что позволяет формулировать конкретные технические требования к аппаратуре на этапе планирования миссии [1, с. 15–17; 7, с. 570–573].

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку алгоритма управления движением дронов, максимизирующего λ_2 в реальном времени, с учетом распределенных подходов к поддержанию связности [6, с. 9–12] и методов управления алгебраической связностью [10, с. 6–10].

Литература/References

1. Srivastava, A. Future FANET with Application and Enabling Techniques: Anatomization and sustainability issues / A. Srivastava, J. Prakash // Computer Science Review. – 2021. – Vol. 39. –

P. 100359.

2. Lakew, D.S. Routing in Flying Ad Hoc Networks: A Comprehensive Survey / D.S. Lakew, U. Sa'ad, N.-N. Dao, W. Na, S. Cho // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2020. – Vol. 22. – No. 2. – P. 1071–1120.

3. Wheeb, A.H. Topology-Based Routing Protocols and Mobility Models for Flying Ad-Hoc Networks: A Contemporary Review and Future Research Directions / A.H. Wheeb, R. Nordin, A. Abu Samah, M.H. Alsharif, M.A. Khan // Drones. – 2022. – Vol. 6. – No. 1. – P. 9.

4. Kim, T. FANET Routing Protocol Analysis for Multi-UAV-Based Reconnaissance Mobility Models / T. Kim, S. Lee, K.H. Kim, Y.-I. Jo // Drones. – 2023. – Vol. 7. – No. 3. – P. 161.

5. Chung, F.R.K. Spectral Graph Theory / F.R.K. Chung. – Providence, RI : American Mathematical Society, 1997.

6. Liu, C. Towards a Robust FANET: Distributed Node Importance Estimation-Based Connectivity Maintenance for UAV Swarms / C. Liu, Z. Zhang // Ad Hoc Networks. – 2022. – Vol. 125. – P. 102734.

7. Almansor, M.J. Routing Protocols Strategies for Flying Ad-Hoc Network (FANET): Review, taxonomy, and open research issues / M.J. Almansor et al. // Alexandria Engineering Journal. – 2024. – Vol. 109. – P. 553–577.

8. Fiedler, M. Algebraic Connectivity of Graphs / M. Fiedler // Czechoslovak Mathematical Journal. – 1973. – Vol. 23. – P. 298–305.

9. De Abreu, N.M.M. Old and New Results on Algebraic Connectivity of Graphs / N.M.M. De Abreu // Linear Algebra and its Applications. – 2007. – Vol. 423. – P. 53–73.

10. Bianchin, G. Algebraic Connectivity Control and Maintenance in Multi-Agent Networks under Attack / G. Bianchin, F. Pasqualetti, A. Gasparri // IEEE Control Systems Letters. – 2021. – Vol. 5. – No. 4. – P. 1459–1464.

© В.М. Гуреев, Р.А. Царапкин, А.М. Круглов, 2026

УДК 519.24

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ КАРУНЕНА – ЛОЭВА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Б.С. ДОБРОНЕЦ, О.А. ПОПОВА, М.А. АБРАМОВ

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Ключевые слова и фразы: неопределенные вероятности; вероятность второго порядка; распределение второго порядка; вычислительный вероятностный анализ; вероятностное расширение; разложение Карунена – Лоэва.

Аннотация: Изучается проблема численного моделирования неопределенных вероятностей, возникающих в условиях недостатка информации. Для этих целей используется новый подход, основанный на распределениях второго порядка. Слабым местом аналогичных подходов для работы с неопределенными вероятностями является отсутствие развитых операций над ними. В работе для построения численных операций над распределениями второго порядка предлагается использовать их параметризацию с помощью разложения Карунена – Лоэва. Далее операции над разложениями строятся на использовании вычислительного вероятностного анализа. Рассматривается пример построения надежных оценок функций распределения в условиях малых выборок. Показана возможность использования вероятностных расширений для операций над распределениями второго порядка.

Введение

Во многих практических задачах исследования систем и процессов в условиях неопределенности возникает проблема вычисления надежных оценок различных показателей при существующей неопределенности их вероятностных оценок.

Существующие методы, разработанные для практических приложений на основе классической теории вероятностей, не дают убедительных результатов в условиях неопределенных вероятностей, поскольку построенные оценки имеют детерминированный характер.

Отметим, что достоверность вероятностных оценок в рамках частотного подхода существенно зависит от многих факторов, например, от объема и достоверности исходных статистических данных. Например, для исследователей-практиков важную проблему составляют вычисления надежных оценок в условиях малых выборок, в том числе разработка и реализация численных вероятностных арифметик.

Для описания неопределенных вероятностей используются такие термины, как субъективные вероятности, неточные вероятности, вероятности второго порядка.

Различные значения «неопределенной» вероятности $p(e)$ можно рассматривать как случайные события (или как значения случайной переменной). Если этим значениям присвоить вероятности их осуществления, получим вероятностное распределение второго порядка $p(p(e))$ [1].

В статье рассматриваются численные операции над распределениями второго порядка. Распределения второго порядка используются для оценки неточных вероятностей и вероятностей второго порядка [2]. Вероятности второго порядка возникают, когда у нас есть оценка вероятности некоего события P. Когда мы можем оценить границы $P_1 \le P \le P_2$, можно говорить об интервальной оценке вероятности P. В тех случаях, когда для P существует вероятностная оценка, можно говорить о вероятности второго порядка. Таким образом, вероятности второго

порядка – это вероятностные оценки самих вероятностей.

Следует отметить давний и устойчивый интерес к вероятностям второго порядка в различных областях, включая принятие решений [3; 4]. Среди русскоязычных монографий, посвященных методам работы с неопределенностями, можно выделить работу [1].

Одним из распространенных методов работы с неопределенными вероятностями является использование *P-box*. *P-box* представляет собой интервальную функцию распределения $\left[F_1(x) < F(x) < F_2(x)\right]$ [5].

Функции плотности вероятности случайных величин x, y, z будем обозначать $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{y}$, $\boldsymbol{z}$. Обозначим $\boldsymbol{R}$ – множество всех функций плотности вероятности и $\boldsymbol{R}^n$ – пространство плотностей вероятности случайных векторов из $\mathbb{R}^n$.

Распределения второго порядка

Одним из подходов, моделирующим неопределенность вероятностных оценок, стало использование вероятностей второго порядка. Применение вычислительного вероятностного анализа позволило развить идею далее на основе применения кусочно-полиномиальных моделей [6]. Для численных реализаций операций над вероятностями второго порядка предлагается использовать понятие распределения второго порядка. Для этого определим понятие случайного поля и дадим определение распределения второго порядка.

В вероятностном пространстве (Ω, F, P) случайное поле представляет собой набор случайных величин $\{a(x,\omega), x \in D, \omega \in \Omega\}$, где D – некоторая область $D \subset \mathbb{R}^d$.

Случайное поле можно посмотреть двумя способами: для фиксированного $x \in D, a(x,\cdot)$ является случайной величиной в Ω; для фиксированного $\omega \in \Omega, a(\cdot,\omega)$ является реализацией случайного процесса в D.

Далее для случайных полей определим математическое ожидание и ковариационную функцию:

$$m(x) := E[a(x,\cdot)],$$
$$Cov_a(s,t) := E[(a(s,\cdot) - m(s))(a(t,\cdot) - m(t))],$$
$$\forall t, s.$$

Определение. Распределение второго порядка $\boldsymbol{f}^{(2)}$ – случайное поле $f(x, \omega)$, $x \in D$, $\omega \in \Omega$, заданное на $D \subset \mathbb{R}$, где (Ω, F, P) – вероятностное пространство. Обладает следующими свойствами: для фиксированного $\omega \in \Omega, f(\cdot,\omega)$ является функцией распределения.

Операции над распределениями второго порядка. Пусть $\boldsymbol{f}^{(2)}$ и $\boldsymbol{g}^{(2)}$ – распределения второго порядка, (Ω_f, F_f, P_f), (Ω_g, F_g, P_g) – соответственно их вероятностные пространства. Тогда результат операции $\boldsymbol{f}^{(2)} * \boldsymbol{g}^{(2)}$, распределение второго порядка $\boldsymbol{F}^{(2)}$

$$F(\cdot,\omega_*) = \{f(\cdot,\omega_f) * g(\cdot,\omega_g) \,|\, (\omega_f,\omega_g) \in \Omega_*\},$$

где (Ω_*, F_*, P_*) – вероятностное пространство, $\Omega_* = \Omega_f \times \Omega_g$.

В тех случаях, когда для распределений второго порядка $\boldsymbol{f}_i$, $f_i(\cdot,\omega)$ – функции плотности вероятности, для распределений второго порядка можно определить функции над распределениями второго порядка.

В дальнейшем на основе разложения Карунена – Лоэва построим параметризацию распределений второго порядка.

Разложение Карунена – Лоэва (*Karhunen – Loève decomposition*, ***KLD***) – метод анализа случайных процессов и полей, используемый преимущественно в статистике, теории вероятностей и обработке сигналов. Основная идея метода состоит в разложении процесса или поля на ортогональный ряд коэффициентов.

Случайное поле $a(x,\omega)$ может быть аппроксимировано разложением Карунена – Лоэва, имеющим форму:

$$a(x,\omega) = m(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{\lambda_n}\, b_n(x) \xi_n(\omega),$$

где λ_n и $b_n(x)$ – собственные значения и соответствующие собственные функции для ковариационной функции, и $\xi_n(\omega)$ обозначают некоррелированные вещественные случайные величины.

Рассмотрим построение моделей для представления распределений второго порядка. Предварительно рассмотрим задачу оценки функции среднего значения $m(x)$ и ковариационной функции $Cov_a(s, t)$ случайного поля $a(x,\omega)$, которое может быть получено из экспериментальных данных.

Теперь предположим, что мы можем на-

блюдать M независимых реализаций $a(x, \omega)$, записанных как $a_1(x),...,a_M(x)$. Пусть наблюдаемая функция выборочного среднего $m^*_M(x)$ и выборочная ковариационная функция $S^*_M(s,t)$ для $a_1(x),...,a_M(x)$ имеет вид:

$$m^*_M(x) = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} a_i(x),$$

$$S^*_M(t,s) = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}(a_i(s) - m^*_M(s))(a_i(t) - m^*_M(t)).$$

Тогда мы видим, что $m^*_M(x)$ и $S_M(s,t) = \frac{M}{M-1}S^*_M(s,t)$ – несмещенные и непротиворечивые оценки из $m(x)$ и $Cov_a(s,t)$ соответственно.

Вероятностные расширения

Определение 1. Будем говорить, что случайная функция $\boldsymbol{f}: \boldsymbol{R}^n \to \boldsymbol{R}$ является вероятностным продолжением вещественной функции $f: \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ на множестве $D \subset \mathbb{R}^n$, если $\boldsymbol{f}(x) = f(x)$ для всех точечных аргументов $x \in D$.

Определение 2. Случайная функция $\boldsymbol{f}: \boldsymbol{R}^n \to \boldsymbol{R}$ является вероятностным расширением вещественной функции $f: \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ на множестве $D \subset \mathbb{R}^n$, если она является вероятностным продолжением f на D и функция плотности вероятности $\boldsymbol{f}$ совпадает с функцией плотности вероятности z случайной величины $z: z = f(x_1, x_2, ..., x_n)$.

Таким образом, мы можем записать $z = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, ..., \boldsymbol{x}_n)$. В тех случаях, когда надо указать непосредственно значение плотности вероятности $\boldsymbol{f}$ в некоторой точке ξ, будем использовать обозначение $z(\xi) = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, ..., \boldsymbol{x}_n)(\xi)$.

Пусть $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ – рациональная функция, тогда для вычисления $\boldsymbol{f}$ заменим арифметические операции на вероятностные операции, а переменные $x_1, x_2, ..., x_n$ – значениями их функций плотности вероятности. Полученную плотность вероятности $\boldsymbol{f}$ будем называть естественным вероятностным расширением.

Теорема 1. Пусть $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ – рациональная функция, каждая переменная которой встречается только один раз и $x_1, x_2, ..., x_n$ – независимые случайные величины. Тогда естественное вероятностное расширение совпадает с вероятностным расширением.

Следствие 1. Пусть для функции $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ возможна замена переменных, такая что $f(z_1, z_2, ..., z_k)$ – рациональная функция от переменных $z_1, z_2, ..., z_k$, удовлетворяющая условиям теоремы 1, и z_1 – функции от множества переменных $x_i, i \in Ind_i$, причем множества Ind_i попарно не пересекаются. Пусть для каждой z_i существуют вероятностные расширения. Тогда естественное вероятностное расширение $f(z_1, z_2, ..., z_k)$ будет совпадать с вероятностным расширением функции $f(x_1, x_2, ..., x_n)$.

Для частного вида случайных функций введем следующие понятия. Пусть случайная функция имеет вид $\boldsymbol{f}(x) = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{a}_i g_i(x)$, где $\boldsymbol{a}_i$ – случайные константы, $g_i \in C^m[a,b]$. Тогда производную от $\boldsymbol{f}(x)$ определим таким образом: $\partial^k \boldsymbol{f}(x) = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{a}_i g_i^{(k)}(x), \quad k = 0,...,m.$ Интеграл от функции $\boldsymbol{f}(x)$ определим как $\int \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{a}_i v(x)dx = \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{a}_i \left(\int v(x)dx\right)$, где $v(x)$ – вещественные интегрируемые функции.

Теорема 2. Пусть $(x_1, x_2, ..., x_n)$ – независимые случайные величины и $\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, ..., \boldsymbol{x}_n)$ – вероятностное расширение $f(x_1, x_2, ..., x_n)$, и для всех вещественных t функция $\boldsymbol{f}(t, \boldsymbol{x}_2, ..., \boldsymbol{x}_n)$ – вероятностное расширение $f(t, x_2, ..., x_n)$. Тогда

$$\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, ..., \boldsymbol{x}_n)(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t)\boldsymbol{f}(t, \boldsymbol{x}_2, ..., \boldsymbol{x}_n)(\xi)dt.$$

Пример использования распределений второго порядка

Далее рассмотрим применение распределения второго порядка для построения надежных оценок функций распределения случайной величины X. Пусть $(x_1, ..., x_n)$ – выборка случайной величины X с функцией распределения $F(x), x \in [a,b]$.

Пусть $z_i = F(x_i), i = 1,...,n.$ Заметим, что $z_i, i = 1,...,n$ – равномерно распределенные случайные величины на [0; 1]. Если $z_1 \le z_2 \le ... \le z_n$, то z_k – k-я порядковая статистика и математическое ожидание $E[z_k] = \frac{k}{n+1}$ [7].

Далее будем использовать точки $(x_i, \frac{i}{n+1})$

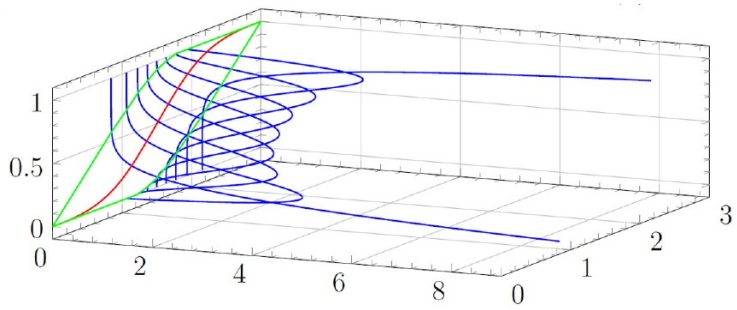


Рис. 1. Распределение второго порядка $\boldsymbol{L}^{(2)}$

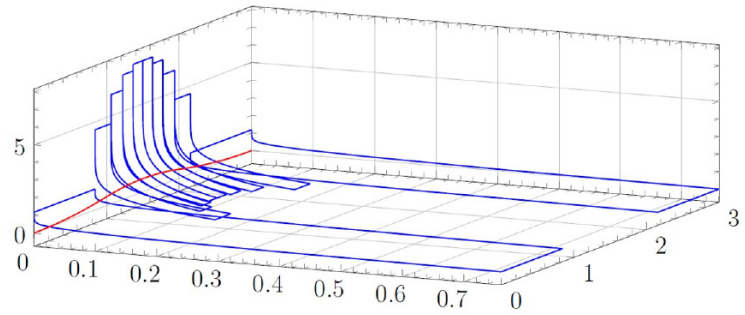


Рис. 2. Функция плотности вероятности второго порядка $\boldsymbol{P}^{(2)}$

для построения аппроксимации функции распределения $F(x)$.

Пусть $\omega = \{a = x_0 < x_1 < x_2 < ... < x_n < x_{n+1} = b\}$ – сетка. Построим на ω кусочно-линейную функцию S: $S(x_i) = \frac{i}{n+1}$, $i = 1,...,n$, $S(a) = 0$, $S(b) = 1$.

Заметим, если бы мы могли вместо математических ожиданий $\frac{i}{n+1}$ использовать точные значения z_i, то погрешность кусочно-линейной функции $S(x)$ на сетке ω с $h = \max_{i=0}^{n-1}(x_{i+1} - x_i)$ удовлетворяла бы оценке $\| F - S \|_2 \le Kh^2 \| F^{(2)} \|_2$.

Таким образом, даже при относительно небольших n, построенные оценки достаточно хорошо аппроксимируют функцию распределения F.

Каждому случайному вектору $(z_1, z_2, ..., z_n)$ соответствует кусочно-линейная функция S. Перебирая все возможные случайные векторы, получаем все множество кусочно-линейных функций $\{S\}$ в виде случайного поля. Заметим, что $\{S\}$ содержит интерполянт функции распределения F. Таким образом, используя для значения в узле x_k плотность вероятности k-й порядковой статистики, распределение второго порядка $\{S\}$ можно представить в виде случайного поля $\boldsymbol{L}$. Соответственно, $\boldsymbol{L}$ – надежная оценка эмпирической функции распределения.

На рис. 1 представлено распределение второго порядка, аппроксимирующее множество $\{S\}$, построенное на выборке случайной величины размерности 9. Голубые линии – плотности вероятности случайной кусочно-линейной функции в узлах сетки. Красная линия – точная функция распределения Ирвина – Холла (n = 3). Зеленые линии – границы 95 % доверительной области.

Функция плотности вероятности есть производная от функции распределения $f(x) = F'(x)$, следовательно, производная от функции распределения второго порядка будет функцией плотности вероятности второго порядка.

Рассмотрим пример построения функций плотности вероятности второго порядка. Генерируем случайные вектора $Z_i = (z_1 \le z_2 \le ... \le z_n)$, $i = 1,...,M$. Для каждого Z_i строим на сетке $\omega = \{a = x_0 < x_1 < x_2 < ... < x_n < x_{n+1} = b\}$ кусочно-линейную функцию L_i, $i = 1,...,M$. Производная от кусочно-линейной функ-

ции – кусочно-постоянная функция $P_i = \{p_j, x \in (x_{j-1}, x_j), j = 1,...,n\}$. Таким образом, $P_i, i = 1,...,M$ – реализации случайного поля $\boldsymbol{P}$, аппроксимирующего функцию плотности вероятности второго порядка.

Приведен пример кусочно-постоянной функции – функции плотности вероятности второго порядка. На рис. 2 красная линия – функция плотности вероятности распределения Ирвина – Холла (n = 3). Голубые линии – функции плотности вероятности второго порядка, построенной на выборке случайной величины размерности 9. Используя реализации $P_i, i = 1,...,M$ случайного поля $\boldsymbol{P}$, можно, согласно следствию 1, построить выборочную ковариационную матрицу C размерности $n + 1$. Пусть λ_i – собственные числа и $b_i = (b_1, b_2, ..., b_{n+1})$ – собственные вектора матрицы C.

Разложение Карунена – Лоэва дает возможность аппроксимировать функции плотности вероятности второго порядка, т.е. у нас есть $\boldsymbol{P}^{(2)}(x) \approx \sum_{i=1}^{n+1} \sqrt{\lambda_i} b_i(x) \boldsymbol{p}_i$, где $\boldsymbol{p}_i$ – некоррелированные случайные константы, функция $b_i(x)$ связана с собственными векторами матрицы C: $b_i(x) = b_{i,j}, x \in (x_{j-1}, x_j), j = 1,...,n+1$.

Реализация операций над распределениями второго порядка

Рассмотрим реализацию операций над распределениями второго порядка, представленными усеченными разложениями Карунена – Лоэва. Важно отметить, что некоррелированность случайных констант в разложениях Карунена – Лоэва дает возможность использовать вероятностные расширения для операций над распределениями второго порядка. Пусть $\boldsymbol{f}^{(2)}$ и $\boldsymbol{g}^{(2)}$ – распределения второго порядка:

$$\boldsymbol{f}^{(2)}(x) \approx f(x) + \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\lambda_n} \boldsymbol{f}_n w_n(x),$$

$$\boldsymbol{g}^{(2)}(x) \approx g(x) + \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\mu_n} \boldsymbol{g}_n v_n(x).$$

Рассмотрим процесс вычисления плотности вероятности $\boldsymbol{p}$ суммы двух случайных величин f и g. Если известны их функции плотности вероятности $\boldsymbol{f}$, $\boldsymbol{g}$, тогда $\boldsymbol{p}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \boldsymbol{f}(z-x)\boldsymbol{g}(x)dx$ [6].

Для этапа вычисления суммы распределений второго порядка $\boldsymbol{f}^{(2)}$ и $\boldsymbol{g}^{(2)}$ построим вероятностное расширение $\boldsymbol{p}^{(2)}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \boldsymbol{f}^{(2)}(z-x)\boldsymbol{g}^{(2)}(x)dx$:

$$\boldsymbol{p}^{(2)}(\boldsymbol{f}_1,...,\boldsymbol{f}_n,\boldsymbol{g}_1,...,\boldsymbol{g}_n)(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \left(f(z-x) + \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\lambda_n} \boldsymbol{f}_n w_n(z-x) \right) \left(g(x) + \sum_{n=1}^{N} \sqrt{\mu_n} \boldsymbol{g}_n v_n(x) \right) dx.$$

Таким образом, для вычисления $\boldsymbol{p}^{(2)}$ можно применить вероятностные расширения. Заметим, что $\boldsymbol{p}^{(2)}$ рациональная и зависит от независимых переменных $(\boldsymbol{f}_1,...,\boldsymbol{f}_n,\boldsymbol{g}_1,...,\boldsymbol{g}_n)$, что позволит для ее вычисления применить теорему 2, но она не попадает под условие теоремы 1.

Если заменить случайные константы $\boldsymbol{g}_1,...,\boldsymbol{g}_n$ детерминированными значениями $t_1,...,t_n$, то можно использовать теорему 2 для вычисления суммы распределений второго порядка:

$$\boldsymbol{p}^{(2)}(z) = \int\int \boldsymbol{g}_1(t_1)...\boldsymbol{g}_n(t_n) \left(\int_{-\infty}^{\infty} (f(z-x) + \sum_{i=1}^{N} \sqrt{\lambda_i} \boldsymbol{f}_i w_i(z-x)) \times (g(x) + \sum_{j=1}^{N} \sqrt{\mu_j} t_j v_j(x)) dx \right) dt_1...dt_n.$$

Рассмотренный выше подход можно распространить на вычисления функций от распределений второго порядка.

Заключение

В работе рассмотрены численные операции над распределениями второго порядка. Операции базируются на использовании вероятностных расширений над параметризованными представлениями распределений второго порядка. Дальнейшее развитие подобной методики позволит строить численные реализации функций от распределений второго порядка.

Литература

1. Ужга-Ребров О.И. Управление неопределенностями. Часть 4. Комбинирование неопределенностей / О.И. Ужга-Ребров. – Rezekne, 2014.
2. Augustin, T. Introduction to Imprecise Probabilities / T. Augustin, F. Coolen, G. Cooman, M. Troffaes. – John Wiley & Sons, 2014.
3. Sahlin, N. The Role of Second-Order Probabilities in Decision Making / N. Sahlin, R. Goldsmith // Advances in Psychology. – 1983. – Vol. 14. – P. 455–467.
4. Utkin, L. Decision Making with Imprecise Second-Order Probabilities / L. Utkin // Proceedings of the Third International Symposium on Imprecise Probabilities and Their Applications. – Lugano, Switzerland, July 14–17, 2003. – P. 547–561.
5. Ferson, S. Constructing Probability Boxes and Dempster-Shafer Structures / S. Ferson, V. Kreinovich, L. Ginzburg, D.S. Myers, K. Sentz // Sandia National Laboratories, SAND 2002-4015, 2003. – DOI: 10.2172/809606.
6. Добронец, Б.С. Вычислительный вероятностный анализ: модели и методы / Б.С. Добронец, О.А. Попова. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий, 2020.
7. Дэйвид, Г. Порядковые статистики / Г. Дэйвид. – М. : Наука, 1979. – 336 с.

References

1. Uzhga-Rebrov O.I. Upravlenie neopredelennostyami. CHast 4. Kombinirovanie neopredelennostej / O.I. Uzhga-Rebrov. – Rezekne, 2014.
6. Dobronets, B.S. Vychislitelnij veroyatnostnij analiz: modeli i metody / B.S. Dobronets, O.A. Popova. – Krasnoyarsk : Sibirskij federalnij universitet, Institut kosmicheskikh i informatsionnykh tekhnologij, 2020.
7. Dejvid, G. Poryadkovye statistiki / G. Dejvid. – M. : Nauka, 1979. – 336 s.

© Б.С. Добронец, О.А. Попова, М.А. Абрамов, 2026

УДК 539.3

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ 3D-ПЕРФОРИРОВАННЫХ ПЛАСТИН ИЗ ЧУГУНА

А.Е. МАКСЕЕВ, М.В. ЖИГАЛОВ

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов;
ФГУБН «Институт гидродинамики имени М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск

Ключевые слова и фразы: 3*D*-пластинки; метод И.А. Биргера; напряженно-деформированное состояние; перфорированные пластины.

Аннотация: Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния 3*D*-пластины с отверстиями в рамках теории малых упругопластических деформаций с условием текучести фон Мизеса. Для этого решаются задачи построения математической модели, численного анализа методом переменных параметров упругости И.А. Биргера и методом конечных элементов с использованием экспериментальных зависимостей «интенсивность напряжений – интенсивность деформаций» для трех типов чугуна. Гипотеза заключается в том, что предложенная модель адекватно описывает развитие упругопластических деформаций в пластине. В результате получены зависимости «нагрузка – прогиб» и распределение упругопластических зон.

Введение

Перфорированные пластины – критические элементы авиационных, морских и машиностроительных конструкций. Отверстия в них создают концентраторы напряжений, снижающие прочность и жесткость, что особенно значимо при формировании пластических зон вблизи вырезов [1].

Аналитические исследования базируются на методах комплексных переменных и конформных отображений. Подход Мусхелишвили [2] позволяет точно определять границы упругопластических деформаций, что подтверждается результатами конечно-элементного анализа [3]. Современные численные методы исследования опираются на метод конечных элементов (**МКЭ**). Модели на основе деформационной теории пластичности и критерия Мизеса позволяют анализировать напряженно-деформированное состояние (**НДС**) физически нелинейных разномодульных пластин [4] и пластин со сложной геометрией вырезов [5].

Несмотря на значительное количество исследований, влияние размеров и расположения отверстий на развитие пластических зон и жесткостные характеристики пластин изучено недостаточно полно, что определяет актуальность дальнейших исследований в данной области.

Постановка задачи

Область $\Omega \in R^3$ занимает пластина переменной толщины (рис.1), где

$$\Omega = \{(x, y, z) \in R^3 \mid x \in [0, a], y \in [0, b], \\ z \in [-h(x, y) / 2, h(x, y) / 2]\}.$$

На S_1 действует поперечная нагрузка $q(x, y)$. На S_3–S_8 – кусочно-непрерывные краевые условия; S_2, S_7, S_8 – свободны от нагрузок. Материал упругий, однородный. Упругопластическое поведение моделируется на основе деформационной теории пластичности [5].

Задача решается относительно перемещений u, v, w. Для решения запишем уравнения равновесия [5]:

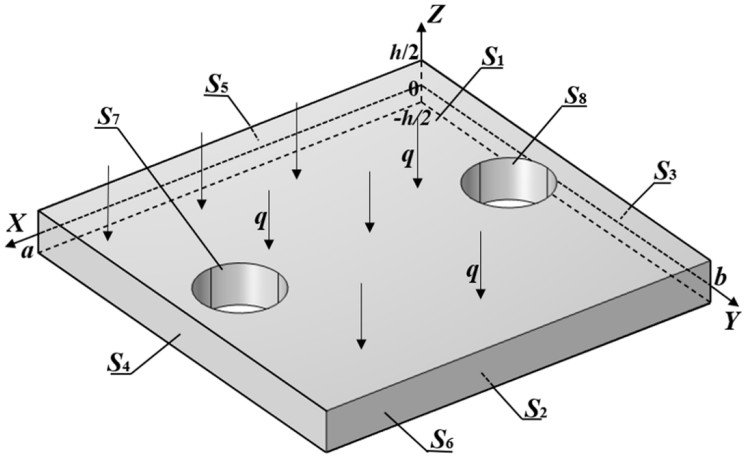


Рис. 1. Конструкция пластины

$$\left[(\lambda+\mu)\theta\right]_x + \nabla\left[\mu\nabla u\right] = 0, \overleftarrow{\left(\theta_x, \theta_y, \theta_z\right), (u, v, w)}, \quad (1)$$

где $[\bullet]_x, [\bullet]_y, [\bullet]_z$ – частные производные по координатам x, y, z соответственно;

$$\lambda(x, y, z, e_i, e_0) = \frac{E(x, y, z, e_i, e_0)\nu(x, y, z, e_i, e_0)}{(1+\nu(x, y, z, e_i, e_0))(1-2\nu(x, y, z, e_i, e_0))};$$

$$\mu(x, y, z, e_i, e_0) = \frac{E(x, y, z, e_i, e_0)}{2(1+\nu(x, y, z, e_i, e_0))};$$

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z};$$

E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона. Перемещения u, v, w на поверхностях S_3–S_8 удовлетворяют граничным условиям:

$$u = v = w = 0. \quad (2)$$

Уравнения (1)–(2) приводятся к безразмерному виду с помощью выражений:

$$x = \bar{x}a, y = \bar{y}b, z = \bar{z}h,$$
$$u = \bar{u}a, v = \bar{v}b, w = \bar{w}h, \bar{F} = F\frac{a^2b^2}{h^4E}. \quad (3)$$

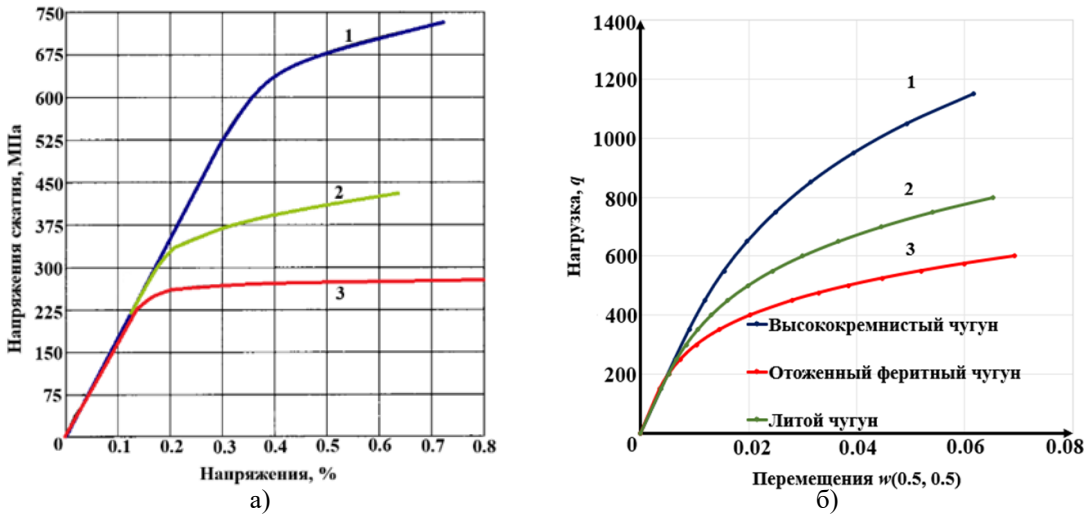
Исследование сформулированной нелинейной математической модели осуществляется на основе итерационной процедуры метода переменных параметров упругости И.А. Биргера [6]: на первой итерации при заданной поперечной нагрузке и известной диаграмме деформирования $\sigma_i = F(e_i)$ с помощью МКЭ в пакете *Comsol Multiphysics* определяется НДС пластинки. Определяется интенсивность деформации и проводится пересчет модуля сдвига $G(x, y, z, e_0, e_i)$, модуля Юнга $E(x, y, z, e_0, e_i)$ и коэффициента Пуассона $\nu(x, y, z, e_0, e_i)$, которые считаются зависящими от координат (x, y, z), объемной деформации e_0 и интенсивности деформаций e_i на каждом шаге. Далее решается обновленная упругая задача при той же внешней нагрузке, но с уточненными параметрами материала. Итерационный процесс уточнения НДС заканчивается при достижении заданной точности.

Численный пример

Рассмотрим квадратную пластину толщиной $a = b = 1$ [м]. Внутри пластины располагаются два отверстия с координатами центров (0,15; 0,5) и (0,85; 0,5) и радиусами $r = 0{,}1$. Рассматриваются три вида чугуна [7]: высококремнистый высокопрочный чугун; отожженный ферритный высокопрочный чугун; литой перлитный высокопрочный чугун. На рис. 2а приведены зависимости $\sigma_i(e_i)$, полученные из эксперимента [7]. Эти зависимости были аппроксимированы для численного эксперимента формулами (4), (5):

$$\sigma_i = k_1 \cdot G_0 e_i \text{ при } e_i < e_s, \quad (4)$$

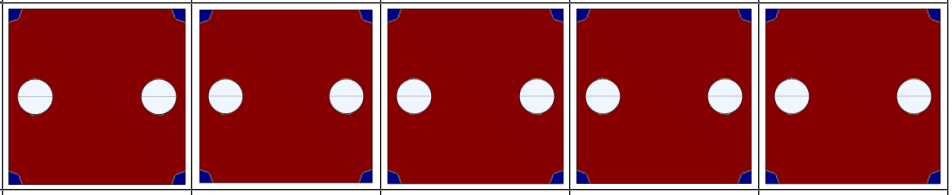
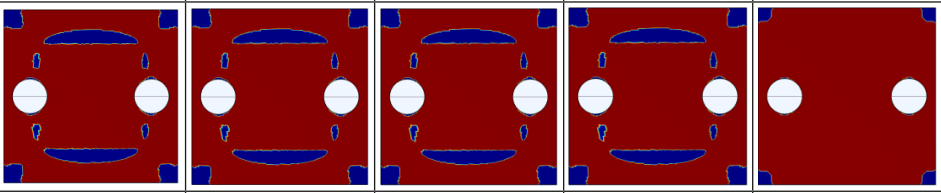
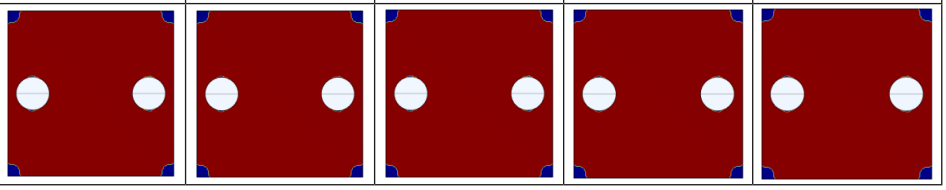
$$\sigma_i = \sigma_s(k_2 - e^{(-e_i \cdot k_3)/e_s}) - k_4 \cdot G_0 \cdot e_s \text{ при } e_i \geq e_s, \quad (5)$$



а) б)

Рис. 2. а) Диаграмма деформирования материала; б) Диаграмма «нагрузка – деформация»

Таблица 1. Распределение пластических зон

Материал \ Нагрузка	q = 350	q = 550	q = 750	q = 950	q = 1150
Высококремнистый чугун (M_1)					
	q = 150	q = 250	q = 350	q = 450	q = 550
Литой чугун (M_2)					
	q = 150	q = 200	q = 250	q = 300	q = 350
Отожженный чугун (M_3)					

где для высококремнистого высокопрочного чугуна (M_1) $\sigma_s = 4{,}8\cdot10^8$ Па, $e_s = 3{,}5\cdot10^{-3}$, $k_1 = 1{,}28$, $k_2 = 4{,}85$, $k_3 = 0{,}7$, $k_4 = 3{,}3$; литого перлитного чугуна (M_2) $\sigma_s = 3{,}98\cdot10^8$, $e_s = 1{,}8\cdot10^{-3}$, $k_1 = 1{,}28$, $k_2 = 3$, $k_3 = 0{,}98$, $k_4 = 3{,}2$; отожженного перлитного чугуна (M_3) $\sigma_s = 2{,}74\cdot10^8$, $e_s = 0{,}9\cdot10^{-3}$, $k_1 = 1{,}5$, $k_2 = 2{,}25$, $k_3 = 1$, $k_4 = 2{,}9$. Для всех зависимостей принято $E_0 = 130\cdot10^9$ [Па], $K = 1{,}94G_0$, $\nu = 0{,}25$. Модуль сдвига рассчитывается как $G_0 = E_0/2(1+\nu)$.

Методом конечных элементов (**МКЭ**) выполнены расчеты для пластины $a/h = 20$ с круглыми отверстиями радиуса $r = 0{,}1$. Оценивалась погрешность перемещений w в точке (0,5; 0,5; 0). Установлено, что гексаэдральные элементы $N_{КЭ2}$ были эффективнее тетраэдраль-

ных $N_{КЭ1}$. Для каждого исследуемого материала были построены диаграммы нагрузка – перемещения $q(w)$ – рис. 2б и распределение упругопластических зон – табл. 1. Рис. 2а демонстрирует, что наибольший предел текучести при наименьшей деформации начала текучести характерен для высококремнистого высокопрочного чугуна. Это свидетельствует о его высокой прочности, но ограниченной пластичности. Литой перлитный чугун занимает промежуточное положение по механическим свойствам, тогда как отожженный перлитный чугун обладает наименьшей прочностью и наибольшей пластичностью. Участки упрочнения на диаграммах различаются углом наклона, что обусловлено значениями параметров упрочнения k_i для каждого материала.

Зависимости $q(w)$, представленные на рис. 2б, для всех исследуемых материалов носят нелинейный характер. На начальном этапе деформирование является упругим; однако по мере развития пластических зон жесткость пластины снижается, что проявляется в ускоренном росте прогиба при увеличении нагрузки. Проведенный анализ диаграммы «нагрузка – деформация» подтверждает ее согласованность с диаграммой деформирования материала.

В табл. 1 представлены результаты исследования эволюции пластических зон в квадратной пластине с отверстиями при возрастании распределенной нагрузки q. Полученные распределения качественно подтверждают выводы, сделанные на основе диаграмм деформирования (рис. 2б).

Для материала M_1 переход в пластическое состояние начинается при высоких значениях нагрузки. При q = 350 фиксируются лишь локальные очаги пластичности. Полное развитие пластического шарнира и переход к практически полностью пластическому состоянию наблюдаются при q = 1150. Высокий порог потери несущей способности подтверждает высокую прочность данного материала. В материале M_2 пластическое течение активизируется при существенно более низких нагрузках по сравнению с M_1. При q = 150 зоны пластичности носят локализованный характер. По мере увеличения нагрузки до q = 350 наблюдается рост пластических областей, а при q = 550 материал переходит в состояние, близкое к полностью пластическому. Для материала M_3 переход в пластическую стадию происходит при минимальных нагрузках. Уже при q = 150 пластические зоны занимают значительную площадь пластины. При q = 350 пластина полностью переходит в пластическое состояние, что свидетельствует об исчерпании упругой несущей способности. Характер распределения пластических зон является идентичным для всех трех материалов: инициирование пластических деформаций происходит в областях с минимальной концентрацией напряжений (боковые грани и зоны отверстий), после чего очаги распространяются к центру пластины. Наблюдается обратная корреляция между пределом текучести и скоростью охвата пластины пластическими зонами. Для высокопрочного чугуна M_1 диапазон упругой работы ($q \leq 350$) значительно шире, чем для M_3, у которого пластическое состояние доминирует уже при $q \geq 150$.

Таким образом, результаты моделирования (рис. 2б, табл. 1) не только верифицируют данные физических испытаний (рис. 2а), но и позволяют количественно оценить влияние структурных особенностей на эволюцию пластических зон и общую несущую способность конструктивных элементов.

Выводы

В работе построена математическая модель упругопластического деформирования трехмерной пластины с отверстиями в рамках деформационной теории пластичности. Моделирование проводилось с использованием метода конечных элементов (**МКЭ**) и итерационной процедуры метода переменных параметров упругости И.А. Биргера. Численный алгоритм реализован в системе инженерных расчетов *Comsol Multiphysics*. Критерием перехода в пластическое состояние служил критерий текучести фон Мизеса.

В работе выполнена оценка деформационных характеристик и параметров напряженно-деформированного состояния (**НДС**) для трех марок чугуна. Подтверждено, что отверстия в пластине выступают концентраторами напряжений, инициируя возникновение и дальнейшее развитие пластических деформаций. Очаги пластичности возникают в зонах с концентрацией напряжений (боковые грани, отверстия), затем распространяются к центру. Чем выше предел текучести материала, тем медленнее пластические зоны охватывают пластину. Результаты моделирования подтверждают данные физических испытаний и позволяют количественно оценить

влияние структуры материала на эволюцию пластических зон и несущую способность.

Литература/References

1. Cheng, B. Strengthening of Perforated Plates under Uniaxial Compression: Buckling Analysis / B. Cheng, J.S. Zhao // Thin-Walled Structures. – 2010. – Vol. 48(12). – P. 905–914.
2. Ma, Y. Analytical Method for Determining the Elastoplastic Interface of a Circular Hole Subjected to Biaxial Tension-Compression Loads / Y. Ma, A. Lu, H. Cai // Mechanics Based Design of Structures and Machines. – 2022. – Vol. 50(9). – P. 1–18.
3. Mirsalimov, V.M. Elastic-plastic problem for a circular hole plate with regard to crack initiation in elastic zone / V.M. Mirsalimov // Archive of Applied Mechanics. – 2021. – Vol. 91. – P. 1329–1342.
4. Krysko, A.V. Mathematical Modeling of Physically Nonlinear 3D Beams and Plates Made of Multimodulus Materials / A.V. Krysko, J. Awrejcewicz, K.S. Bodyagina, M.V. Zhigalov, V.A. Krysko // Acta Mechanica. – 2021. – Vol. 232(2). – P. 3441–3469.
5. Krysko, A.V. Mathematical modeling of planar physically nonlinear inhomogeneous plates with rectangular cuts in the three-dimensional formulation / A.V. Krysko, J. Awrejcewicz, K.S. Bodyagina, A.V. Krysko // Acta Mechanica. – 2021. – Vol. 232(2). – P. 4933–4950.
6. Birger, I.A. Some general methods of solution for problems in the theory of plasticity / I.A. Birger // Applied Mathematics and Mechanics. – 1951. – Vol. 15(6). – P. 765–770.
7. Tamarin, Y. Atlas of Stress-Strain Curves : 2nd ed. / Y. Tamarin. – ASM International, 2002.

© А.Е. Максеев, М.В. Жигалов, 2026

УДК 51-74

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛО- И ВЛАГОПЕРЕНОСА В КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ С УЧЕТОМ КОНДЕНСАЦИИ

Д.Д. ПЫРКОВ, В.В. КУЗИНА

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза

Ключевые слова и фразы: внутрипоровая конденсация; керамзитобетон; математическое моделирование; ограждающие конструкции; сопряженный тепломассоперенос; теория А.В. Лыкова.

Аннотация: В статье приводится исследование процессов сопряженного тепло- и влагопереноса в керамзитобетонных конструкциях математическими методами. Целью данной статьи является математическое моделирование этих процессов на основе теории А.В. Лыкова. В основу работы положена гипотеза о том, что для максимальной точности расчетов необходимо связать внутренние процессы в керамзитобетоне с реальными колебаниями климата. Для реализации поставленной цели были сформулированы следующие задачи: провести анализ существующих исследований в данной предметной области и модифицировать существующую математическую модель. Основными методами исследования послужили математическое моделирование и аналитическая работа с системой дифференциальных уравнений А.В. Лыкова. Главным достигнутым результатом работы стала адаптированная система уравнений Лыкова, учитывающая нелинейную зависимость теплофизических характеристик керамзитобетона от текущей температуры и влажности.

Введение

Наиболее востребованным материалом для возведения наружных стен и ограждающих конструкций является керамзитобетон, который, благодаря своей пористой макроструктуре, удачно сочетает в себе конструкционную прочность и высокие теплоизоляционные свойства. Однако эксплуатационные характеристики таких конструкций крайне нестабильны и существенно зависят от их текущего влажностного состояния. Накопление влаги в поровом пространстве материала приводит к резкому увеличению его эффективной теплопроводности, что влечет за собой снижение термического сопротивления всего здания [2–5].

Разность температур и градиент парциальных давлений водяного пара в холодный период года приводит к сложному, сопряженному потоку тепла и массы в толще ограждающей конструкции. При достижении паром состояния термодинамического насыщения внутри керамзитобетонной стены начинается интенсивный процесс фазового перехода – конденсация влаги, что усугубляет теплопотери, создает условия для морозного разрушения при отрицательных температурах и развития биоповреждений. В связи с этим точное прогнозирование локализации зоны возможной конденсации и динамики влагонакопления является критически важным еще на этапе теплотехнического расчета [4; 5; 10; 11].

Традиционные нормативные инженерные методы расчета влажностного режима, базирующиеся на упрощенных квазистационарных моделях диффузии (например, метод Глазера), не способны с достаточной точностью описать нестационарные режимы эксплуатации. Для

адекватного отражения физической картины необходимо применение строгого аппарата термодинамики необратимых процессов капиллярно-пористых тел.

Наиболее целесообразным представляется математическое моделирование процессов сопряженного тепло- и влагопереноса в керамзитобетонных конструкциях [1; 4; 6–9; 12].

Наиболее полно сопряженный характер процессов тепло- и массопереноса описывает система взаимосвязанных нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, базирующаяся на феноменологической теории А.В. Лыкова. Данная система позволяет связать поле температур $T(x, \tau)$ и поле влагосодержания $u(x, \tau)$ с учетом источников и стоков массы, вызванных фазовыми превращениями воды [8].

Целью данного исследования является математическое моделирование нестационарных процессов сопряженного тепло- и влагопереноса в однослойных керамзитобетонных стеновых панелях с учетом кинетики конденсации пара.

Краткий анализ существующих исследований в предметной области

Существующие нормативные требования к тепловой защите ограждающих конструкций практически не учитывают колебания температуры и влажности внутри конструкции из-за особенностей климата и других эксплуатационных факторов. Повышение влажности строительных материалов приводит к увеличению их коэффициента теплопроводности, так как воздух в порах замещается жидкой влагой, обладающей более высоким коэффициентом теплопроводности [3; 5]. Эффективное снижение теплопотерь через наружные стены является базовым условием при проектировании зданий, что диктует необходимость применения строительных материалов с высокими термическими характеристиками.

В настоящее время среди легких бесперчаных бетонов наиболее изученным и широко применяемым в малоэтажном и коттеджном строительстве является крупнопористый керамзитобетон (**ККБ**) [11]. Этот конструкционно-теплоизоляционный композит состоит из цементно-песчаной матрицы (скелета) и пористого заполнителя – вспученных гранул обожженной глины (керамзита). Благодаря макропористой структуре гранул, содержащих замкнутые воздушные ячейки, керамзитобетон обладает удачным балансом низкой плотности, малого коэффициента теплопроводности и достаточной несущей способности. Кроме того, его широкое применение обусловлено высокой огнестойкостью, экологической безопасностью, биостойкостью и долговечностью, что делает его оптимальным выбором для массового жилищного и промышленного строительства [2; 10; 11].

Несмотря на очевидные эксплуатационные достоинства, критическим фактором, ограничивающим теплофизическую эффективность керамзитобетона, является его высокая гигроскопичность и чувствительность к увлажнению. Материал представляет собой сложную капиллярно-пористую коллоидную систему с развитой сетью микро- и макрокапилляров в цементном камне. Коэффициент теплопроводности воды ($\lambda \approx 0{,}6$ Вт/(м·К)) превышает аналогичный показатель неподвижного сухого воздуха ($\lambda \approx 0{,}024$ Вт/(м·К)) в 25 раз. Как следствие, поглощение влаги и замещение ею воздуха в поровом пространстве приводит к резкому, нелинейному возрастанию эффективной теплопроводности конструкции и существенному падению ее общего термического сопротивления [3].

Керамзитобетон, обладая высокой пористостью как цементного камня, так и самих керамзитовых гранул, проявляет повышенную чувствительность к влажностному режиму эксплуатации. Появление жидкой влаги в поровом пространстве, особенно в результате внутренней конденсации водяных паров, фундаментально изменяет теплофизические и физико-механические характеристики материала. Избыточное увлажнение оказывает комплексное негативное воздействие на долговечность ограждающей конструкции, что влечет за собой ее преждевременное старение и разрушение, а именно:

– накопление микродефектов, отслоение наружных слоев и общее снижение несущей способности вследствие повторяющихся циклов замораживания и оттаивания накопленного конденсата;

– выщелачивание гидроксида кальция из цементного камня, а в случае использования армированного керамзитобетона также провоцирует коррозию стальной арматуры из-за снижения *pH* среды;

– развитие плесневых грибов и бактерий,

особенно в более теплых внутренних слоях.

Формирование научных представлений о влажностно-тепловом режиме ограждающих конструкций опирается на результаты развития теории переноса в капиллярно-пористых телах, заложенной А.В. Лыковым. В рамках данной теории строительные материалы рассматриваются как многофазные системы, в которых одновременно протекают процессы теплопроводности, диффузии водяного пара, капиллярного переноса жидкой влаги, а также возможны фазовые превращения.

Принципиальным вкладом школы А.В. Лыкова стало обоснование необходимости учитывать сопряженность переносных процессов: изменение температуры влияет на влагоперенос, а изменение влагосодержания – на теплоперенос и теплоемкостные свойства материала [8]. Теория Лыкова позволила перейти от изолированного рассмотрения теплопроводности и диффузии влаги к единой системе дифференциальных уравнений, учитывающей взаимное влияние этих процессов через перекрестные эффекты, такие как термовлагопроводность (движение влаги под действием градиента температуры ∇T) и эффект Дюфура (термодиффузионный эффект – возникновение теплового потока из-за градиента влагосодержания ∇u).

Дальнейшее развитие и адаптация уравнений А.В. Лыкова к задачам строительной теплофизики нашли отражение в классических трудах В.Н. Богословского, К.Ф. Фокина, А.У. Франчука и В.Г. Гагарина [1]. В.Н. Богословский, в частности, ввел понятие потенциала влажности, что значительно упростило расчеты влагопереноса в многослойных ограждающих конструкциях при наличии на границах слоев скачков влагосодержания. Эти исследования позволили сформировать нормативную базу для расчета влажностного режима зданий, однако аналитические решения сложных систем уравнений Лыкова – Михайлова были возможны лишь для упрощенных одномерных задач с постоянными коэффициентами переноса.

Особую сложность в рамках теории Лыкова представляет математическое описание процесса внутренней конденсации. В классической постановке фазовые переходы учитываются через критерий фазового превращения (критерий Померанцева), который характеризует долю пара, переходящего в жидкое состояние. Однако во многих современных исследованиях ограждающих конструкций фазовые переходы либо принимаются изотермическими, либо учитываются квазистационарно.

Таким образом, несмотря на глубокую теоретическую проработку фундаментальных основ тепло- и влагопереноса школой А.В. Лыкова, существует научная проблема, связанная с необходимостью адаптации этих моделей для современных вычислительных комплексов. Требуется разработка уточненных математических моделей, которые будут адекватно описывать нелинейную зависимость коэффициентов переноса от температуры и влажности.

Математическая модель сопряженного тепло- и влагопереноса на основе теории А.В. Лыкова

Для математического описания нестационарных процессов переноса тепла и влаги в капиллярно-пористой структуре керамзитобетона наиболее обоснованным является применение феноменологической теории тепломассопереноса А.В. Лыкова. Керамзитобетон представляет собой типичное капиллярно-пористое тело, в котором перенос влаги может осуществляться как в жидкой, так и в парообразной фазе, а температурное и влажностное поля являются жестко взаимосвязанными.

Фундаментальная система дифференциальных уравнений А.В. Лыкова учитывает не только раздельный перенос тепла и влаги, но и эффекты их сопряжения, такие как термовлагопроводность (движение влаги под действием градиента температур) и выделение/поглощение скрытой теплоты при фазовых переходах (конденсации и испарении) в порах материала. В общем виде для изотропной среды система уравнений записывается следующим образом [1; 8]:

1) уравнение массопереноса (влагопереноса):

$$\partial u/\partial \tau = div\left(a_m\left(\nabla u + \delta \nabla T\right)\right);$$

2) уравнение теплопереноса:

$$c\rho_0\,\partial T/\partial \tau = div\left(\lambda \nabla T\right) + r\varepsilon\rho_0\,\partial u/\partial \tau,$$

где a_m – коэффициент потенциалопроводности массопереноса (коэффициент диффузии влаги), м^2/с; c – удельная массовая теплоемкость

влажного материала, Дж/(кг·К); r – удельная скрытая теплота фазового перехода (парообразования/конденсации), Дж/кг; T – абсолютная температура, К; u – массовое влагосодержание керамзитобетона (отношение массы влаги к массе сухого каркаса), кг/кг; δ – термоградиентный коэффициент, характеризующий относительное перемещение влаги за счет градиента температур, 1/К; ε – критерий фазового превращения, безразмерная величина λ – эффективный коэффициент теплопроводности влажного материала, Вт/(м·К); ρ_0 – плотность сухого скелета керамзитобетона, кг/м^3; τ – время, с.

Особое значение при моделировании ограждающих конструкций из керамзитобетона в зимний период эксплуатации имеет учет внутрипоровой конденсации. В уравнениях Лыкова этот процесс описывается с помощью критерия фазового превращения ε, показывающего, какая доля влаги переносится в виде пара по отношению к общему потоку массы.

При возникновении условий для конденсации (когда температура в толще стены опускается ниже точки росы для текущего парциального давления пара), водяной пар переходит в жидкую фазу. В математической модели этот процесс отражается в источниковом члене уравнения теплопереноса: $r\varepsilon\rho_0\partial u/\partial\tau$. Процесс конденсации сопровождается выделением скрытой теплоты (r), что приводит к локальному повышению температуры каркаса материала, тем самым напрямую влияя на температурное поле ∇T.

Для полного математического описания процесса сопряженного тепло- и влагопереноса систему дифференциальных уравнений необходимо дополнить условиями однозначности. В строительной теплофизике для ограждающих конструкций традиционно применяются граничные условия третьего рода. Они описывают конвективный тепло- и влагообмен между поверхностями керамзитобетонной стены и окружающей средой (внутренним воздухом помещения и наружным климатом).

Для решения полученной системы дифференциальных уравнений рассматривается одномерная плоская задача, где ограждающая конструкция из керамзитобетона имеет толщину d. Координата $x = 0$ соответствует внутренней поверхности стены (обращенной в помещение), а координата $x = d$ – наружной поверхности (обращенной на улицу).

Взаимодействие капиллярно-пористого материала с окружающей средой описывается граничными условиями III рода. В теории А.В. Лыкова эти условия учитывают не только конвективный тепло- и массообмен, но и тепловые эффекты, возникающие при фазовых превращениях влаги (испарении или конденсации) непосредственно на границе раздела фаз «твердое тело – газ».

1. Граничные условия на внутренней поверхности ($x = 0$): Уравнение баланса тепловых потоков с учетом скрытой теплоты фазового перехода записывается следующим образом:

$$\lambda\partial T(0,\tau)/\partial x = \alpha_{\text{в}}\left(T_{\text{в}}(\tau) - T(0,\tau)\right) + \\ +(1-\varepsilon)r\rho_0\beta_{\text{в}}\left(u_{\text{в}}(\tau) - u(0,\tau)\right).$$

Уравнение баланса потоков влаги учитывает суммарный перенос влаги за счет градиента влагосодержания и температуры (термовлагопроводности):

$$a_m\rho_0\left(\partial u(0,\tau)/\partial x + \delta\partial T(0,\tau)/\partial x\right) = \\ = \beta_{\text{в}}\rho_0\left(u_{\text{в}}(\tau) - u(0,\tau)\right).$$

2. Граничные условия на наружной поверхности ($x = d$): по аналогии с внутренней поверхностью, тепловой баланс для границы, контактирующей с уличным воздухом, имеет вид:

$$\lambda\partial T(d,\tau)/\partial x = \alpha_{\text{н}}\left(T(d,\tau) - T_{\text{н}}(\tau)\right) + \\ +(1-\varepsilon)r\rho_0\beta_{\text{н}}\left(u_{\text{в}}(d,\tau) - u_{\text{н}}(\tau)\right).$$

Уравнение массообмена на наружной поверхности стены:

$$a_m\rho_0\left(\partial u(d,\tau)/\partial x + \delta\partial T(d,\tau)/\partial x\right) = \\ = \beta_{\text{н}}\rho_0\left(u(d,\tau) - u_{\text{н}}(\tau)\right),$$

где $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициенты конвективной теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей соответственно, Вт/(м^2·К); $\beta_{\text{в}}$, $\beta_{\text{н}}$ – коэффициенты влагообмена (массоотдачи) внутренней и наружной поверхностей, м/с; $T_{\text{в}}(\tau)$, $T_{\text{н}}(\tau)$ – температуры внутреннего и наружного воздуха, изменяющиеся во времени τ, К; $u_{\text{в}}(\tau)$, $u_{\text{н}}(\tau)$ – равновесные массовые влагосодержания керамзитобетона, соответствующие сорбционной изотерме при текущих значениях температуры и относительной влажности внутреннего и на-

ружного воздуха соответственно, кг/кг.

Граничные условия третьего рода позволяют связать внутренние процессы в керамзитобетоне с реальными колебаниями климата (температуры и влажности на улице и в помещении). Включение в эти условия теплоты фазового перехода делает модель максимально точной для расчетов зимнего влагонакопления и выпадения конденсата.

Заключение

В статье разработана математическая модель процессов сопряженного тепло- и влагопереноса в керамзитобетонных ограждающих конструкциях. В качестве фундаментальной основы использована феноменологическая теория А.В. Лыкова, адаптированная для учета специфики гетерогенной бипористой структуры керамзитобетона и нестационарных климатических воздействий.

Ключевой особенностью предложенного подхода стало прямое включение в систему дифференциальных уравнений источниковых членов, описывающих кинетику внутрипоровой конденсации водяного пара и сопровождающее ее выделение скрытой теплоты фазового перехода.

Литература

1. Гагарин, В.Г. Математическое моделирование нестационарного влажностного режима ограждений с применением дискретно-континуального подхода / В.Г. Гагарин, К.П. Зубарев // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – Вып. 2. – С. 244–256. – DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256.

2. Горин, В.М. Стеновые керамзитобетонные конструкции – перспективный материал для индустриального домостроения / В.М. Горин, С.А. Токарева, М.К. Кабанова // Жилищное строительство. – 2011. – № 3. – С. 55–59.

3. Ермакова, К.О. Эффективное использование теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях. Серия: Строительство : сб. статей магистрантов и аспирантов: в 2-х т. / К.О. Ермакова. – СПб. : – Санкт-Петербургский ГАСУ, 2020. – С. 283–298.

4. 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). – 23–31.

5. Карпова, О.В. Оценка влажностного состояния ограждающих конструкций с применением плит из пеностеклокерамики / О.В. Карпова, В.И. Логанина, В.В Кузина // Приволжский научный журнал. – 2011. – № 2(18). – С. 43–48.

6. Колесников, В.А. Разработка методики расчета трещиностойкости железобетонных сборно-монолитных комбинированных перекрытий / В.А. Колесников, А.И. Никулин // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 6(177). – С. 129–137.

7. Кузина, В.В. Математическое моделирование физико-химических процессов в пористых средах при решении задач создания нанокомпозиционных материалов и влагонаполнения / В.В. Кузина, С.В. Самченко, И.В Козлова., А.Н. Кошев // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2023. – Т. 15. – № 4. – С. 298–309. – DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-5-298-309.

8. Лыков, А.В. Тепломассообмен / А.В. Лыков. – М. : Энергия, 1971. – 558 с.

9. Малыгина, О.А. Разработка математических моделей определения тепловлажностного режима ограждающих конструкций зданий при нестационарном тепловом потоке / О.А. Малыгина // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 3(52). – С. 93–104.

10. Недосеко, И.В. Легкий и особо легкий керамзит и керамзитобетон. Анализ традиционных и перспективных областей их использования в гражданском и промышленном строительстве / И.В. Недосеко, Д.А. Синицын, В.М. Горин, П.В Сафонов [и др.] // Строительные материалы. – 2022. – № 5. – С. 8–14. – DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-8-14.

11. Пыкин, А.А. Повышение эффективности крупнопористого керамзитобетона нанодисперсными добавками / А.А. Пыкин, С.В. Васюнина, А.А. Калугин [и др.] // Строительные материалы. – 2015. – № 11. – С. 20–23.

12. Zubarev, K. Mathematical modeling of heat and moisture regimes of building for the facade thermal insulation composite system with mineral wool insulation / K. Zubarev, V. Gagarin // Smart

Innovation, Systems and Technologies. – 2022. – Vol. 247. – P. 625–634.

References

1. Gagarin, V.G. Matematicheskoe modelirovanie nestatsionarnogo vlazhnostnogo rezhima ograzhdenij s primeneniem diskretno-kontinualnogo podkhoda / V.G. Gagarin, K.P. Zubarev // Vestnik MGSU. – 2020. – T. 15. – Vyp. 2. – S. 244–256. – DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256.

2. Gorin, V.M. Stenovye keramzitobetonnye konstruktsii – perspektivnij material dlya industrialnogo domostroeniya / V.M. Gorin, S.A. Tokareva, M.K. Kabanova // ZHilishchnoe stroitelstvo. – 2011. – № 3. – S. 55–59.

3. Ermakova, K.O. Effektivnoe ispolzovanie teploizolyatsionnykh materialov v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh. Seriya: Stroitelstvo : sb. statej magistrantov i aspirantov: v 2-kh t. / K.O. Ermakova. – SPb. : – Sankt-Peterburgskij GASU, 2020. – S. 283–298.

4. 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). – 23–31.

5. Karpova, O.V. Otsenka vlazhnostnogo sostoyaniya ograzhdayushchikh konstruktsij s primeneniem plit iz penosteklokeramiki / O.V. Karpova, V.I. Loganina, V.V Kuzina // Privolzhskij nauchnij zhurnal. – 2011. – № 2(18). – S. 43–48.

6. Kolesnikov, V.A. Razrabotka metodiki rascheta treshchinostojkosti zhelezbetonnykh sborno-monolitnykh kombinirovannykh perekrytij / V.A. Kolesnikov, A.I. Nikulin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 6(177). – S. 129–137.

7. Kuzina, V.V. Matematicheskoe modelirovanie fiziko-khimicheskikh protsessov v poristykh sredakh pri reshenii zadach sozdaniya nanokompozitsionnykh materialov i vlagonapolneniya / V.V. Kuzina, S.V. Samchenko, I.V Kozlova., A.N. Koshev // Nanotekhnologii v stroitelstve: nauchnij internet-zhurnal. – 2023. – T. 15. – № 4. – S. 298–309. – DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-5-298-309.

8. Lykov, A.V. Teplomassoobmen / A.V. Lykov. – M. : Energiya, 1971. – 558 s.

9. Malygina, O.A. Razrabotka matematicheskikh modelej opredeleniya teplovlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsij zdanij pri nestatsionarnom teplovom potoke / O.A. Malygina // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. – 2024. – № 3(52). – S. 93–104.

10. Nedoseko, I.V. Legkij i osobo legkij keramzit i keramzitobeton. Analiz traditsionnykh i perspektivnykh oblastej ikh ispolzovaniya v grazhdanskom i promyshlennom stroitelstve / I.V. Nedoseko, D.A. Sinitsyn, V.M. Gorin, P.V Safonov [i dr.] // Stroitelnye materialy. – 2022. – № 5. – S. 8–14. – DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-8-14.

11. Pykin, A.A. Povyshenie effektivnosti krupnoporistogo keramzitobetona nanodispersnymi dobavkami / A.A. Pykin, S.V. Vasyunina, A.A. Kalugin [i dr.] // Stroitelnye materialy. – 2015. – № 11. – S. 20–23.

© Д.Д. Пырков, В.В. Кузина, 2026

УДК 621.391:53.08

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗМЫТЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TV-РЕГУЛЯРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА SPLIT BREGMAN

В.Б. ФЕДОРОВ, С.Г. ХАРЛАМОВ

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

Ключевые слова и фразы: размытие изображения; параметр размытия; *TV*-регуляризация; L_2-регуляризация; метрики качества изображения; алгоритм *Split Bregman*.

Аннотация: Целью настоящего исследования является разработка и реализация метода качественного восстановления размытых изображений на основе алгоритма *Split Bregman* с использованием *TV*-регуляризации.

Восстановление размытых изображений является актуальной задачей в области обработки снимков, получаемых при фотосъемке со сложных оптических систем, например, со спутниковых панелей, телескопов или камер видеонаблюдения. Размытие изображения – один из возможных дефектов при фотосъемке. Высокое значение параметра размытия σ приводит к существенному размытию снимка, что приводит к невозможности определения форм объектов на изображении, их свойств, количества и размеров. Качественное восстановление снимка возможно с использованием математических методов, самый известный из которых – регуляризация по А.Н. Тихонову, или L_2-регуляризация. Однако данный метод слишком сильно сглаживает восстанавливаемое изображение, что может привести к некачественному восстановлению объектов, соизмеримых с размером пикселей.

Гипотеза исследования: возможна реализация алгоритма, который позволял бы восстанавливать размытые изображения с высоким качеством, при этом сохраняя резкие края объектов для их отчетливого различения на полученных снимках.

Методы: предлагается метод восстановления размытого изображения с использованием *TV*-регуляризации на основе алгоритма *Split Bregman*. Использование *TV*-регуляризатора позволяет сохранять резкие края и границы объектов, не уменьшая при этом качество восстановления снимка в целом.

Результаты: предлагаемый метод показывает качественные результаты при восстановлении размытых снимков с большим параметром размытия σ. При сравнении с L_2-регуляризацией по известным метрикам оценки качества изображения предлагаемый метод по качеству восстановления как минимум не уступает классическому. При этом визуальная оценка качества восстановленного изображения выше в случае использования *TV*-регуляризатора.

Введение

Размытие изображения – один из возможных дефектов, проявляющихся при фотосъемке с помощью различных оптических систем. В случае, если фотосъемка ведется со сложной оптической системы, размытие изображение может быть вызвано целым комплексом различных факторов. Например, в случае фотосъемки со спутниковых оптических систем, выделяются следующие факторы размытия:

– вибрации оптической системы, вызванные компенсацией движения спутника, вносят высокочастотные флуктуации в оптический путь;

– атмосферная турбулентность, проявляющаяся даже при съемке с высот 500–700 км, приводит к флуктуациям показателя преломления [1], что эквивалентно наложению гауссовской функции рассеяния с параметром размытия σ = 0,6–1,1 пикселя даже в стабильных условиях;

– оптические аберрации, дефокусировка, возникающая, например, при термической нестабильности, и шумы считывания.

Эти факторы в совокупности формируют результирующее размытие, которое необходимо устранять с высокой точностью.

Классический алгоритм восстановления размытого изображения заключается в использовании L_2-регуляризации (регуляризация по А.Н. Тихонову) [2–3] с предварительной реконструкцией краев изображения [4]. Однако данный метод имеет существенный недостаток при фотосъемке объектов, соизмеримыми с размером пикселя оптической системы. Дело в том, что L_2-регуляризатор является сглаживающим функционалом, вследствие чего при восстановлении изображения нарушаются резкие края и границы объектов (например, две рядом едущие машины могут слиться в одну), что недопустимо при качественном восстановлении такого снимка.

В качестве одного из возможных регуляризаторов, позволяющих качественно восстанавливать размытые спутниковые изображения, при этом сохраняя резкие края объектов, можно использовать *TV*-регуляризатор.

Однако данный регуляризатор, в отличие от L_2-регуляризатора, является негладким функционалом, вследствие чего имеет более сложную структуру и требует другого подхода в реализации, например, с помощью алгоритма *Split Bregman*.

Постановка задачи

Пусть $q(x, y)$ – это идеальное (неискаженное) изображение. Пусть это изображение, отразившись от объекта съемки, при попадании на сенсорную матрицу последовательно претерпевает несколько однородных линейных искажений: расфокусировку в атмосфере, расфокусировку в оптической системе и расфокусировку, вызванную компенсацией движения.

Обозначим через $q[x, y]$ дискретное изображение сцены – отраженный световой сигнал, приходящий от объекта съемки до прохождения через среду распространения и оптическую систему. Тогда изображение $q[x, y]$ можно представить в виде:

$$q[x, y] = \sum_{x', y' \in \mathbb{Z}} q[x', y'] F\phi_a(x - x') F\phi_a(y - y'), \tag{1}$$

где $F\phi_a(x) = \prod_{n=0}^{N} \sin c\left(\frac{x}{a^n}\right)$. Как правило, параметры a и N принято считать равными 8, 9 или 10 для наилучшей сходимости функции $F\phi_a(x)$. Данная функция является обобщением известной функции sinc(x) (Теорема Котельникова) [5–6].

С учетом искажений при прохождении сигнала через оптический канал и оптическую систему фотокамеры на сенсорную панель фотокамеры проецируется расфокусированное по Гауссу изображение $p[x, y]$;

$$p[x, y] = \int_{\mathbb{R}^2} q[x', y'] g_\sigma[x - x', y - y'] dx' dy', \tag{2}$$

где $g_\sigma[x, y] = g_\sigma(x) g_\sigma(y)$, $g_\sigma(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$.

Тогда, подставляя (1) в (2), получим следующее выражение:

$$p[x,y]=\sum_{x',y'\in\mathbb{Z}} q[x',y'](F\phi_a * h_\sigma)(x-x')(F\phi_a * h_\sigma)(y-y'), \tag{3}$$

где $(F\phi_a * h_\sigma)(x)=h_x[x,y]=\int_{\mathbb{R}} F\phi_a(x')g_\sigma(x-x')dx.$

Тогда формулу (3) можно переписать в виде:

$$p[x,y]=\sum_{x',y'\in\mathbb{Z}} q[x',y']h[x-x',y-y'], \tag{4}$$

где $h[x,y]=h_x[x,y]h_y[x,y].$

При этом будем считать, что параметр размытия σ вследствие наложения множества факторов является достаточно большим. В дальнейшем будем рассматривать изображения с параметром размытия σ в диапазоне от 1 до 2. Именно такие числовые значения σ наиболее характерны для спутниковой фотосъемки. При этом данный параметр может предварительно оцениваться, как это показано в работах [7–9].

Описание метода

В общем виде задача восстановления искаженного изображения и с использованием регуляризаторов выглядит следующим образом:

$$L(q)=\frac{1}{2}\|h*q-p\|^2+\lambda R(q)\to\min, \tag{5}$$

где $\lambda>0$ – параметр регуляризации, $R(q)$ – некоторая регуляризирующая функция. Сам же *TV*-регуляризатор представляется в виде:

$$R(q)=TV(q)=\sum_{y,x}\left(\left|q[y+1,x]-q[y,x]\right|+\left|q[y,x+1]-q[y,x]\right|\right). \tag{6}$$

На практике решение задачи (5) обычно реализуют с помощью алгоритма Брегмана (*Split Bregman algorithm*) [10].

Приведенную выше формулу для *TV*-регуляризатора можно переписать в следующем виде:

$$TV(q)=\sum_{x,y}\left|\partial_x q[x,y]\right|+\left|\partial_y q[x,y]\right|=\left\|\partial_x q\right\|_1+\left\|\partial_y q\right\|_1, \tag{7}$$

где $\partial_x q[x,y]=q[x+1,y]-q[x,y],\ \partial_y q[x,y]=q[x,y+1]-q[x,y].$ С помощью введения вспомогательной переменной $d=(d_x,d_y)\approx(\partial_x q,\partial_y q)$ задача (5) приводится к следующему виду:

$$\frac{1}{2}\|h*q-p\|^2+\frac{\mu}{2}\left(\left\|\partial_x q-d_x+b_x\right\|_2^2+\left\|\partial_y q-d_y+b_y\right\|_2^2\right)+\lambda\left(\left\|d_x\right\|_1+\left\|d_y\right\|_1\right)\to\min, \tag{8}$$

где $b=(b_x,b_y)$ – дополнительно введенная двухкомпонентная переменная, обновляемая в конце каждого шага, $\mu>0$ – соответствующий дополнительный гиперпараметр.

Решение задачи (8) строится итеративно с повторением следующих шагов.

1) Решение квадратичной подзадачи (гладкой):

$$J(q)=\frac{1}{2}\|h*q-p\|^2+\frac{\mu}{2}\left(\left\|\partial_x q-d_x+b_x\right\|_2^2+\left\|\partial_y q-d_y+b_y\right\|_2^2\right)\to\min. \tag{9}$$

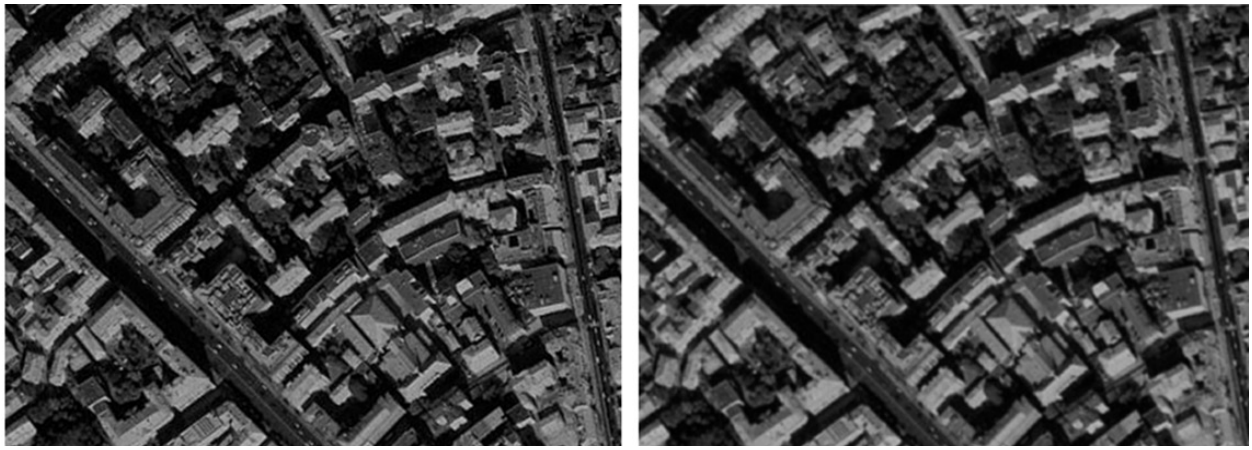


Рис. 1. Оригинальное и размытое изображение городской застройки с параметром размытия σ = 1,5

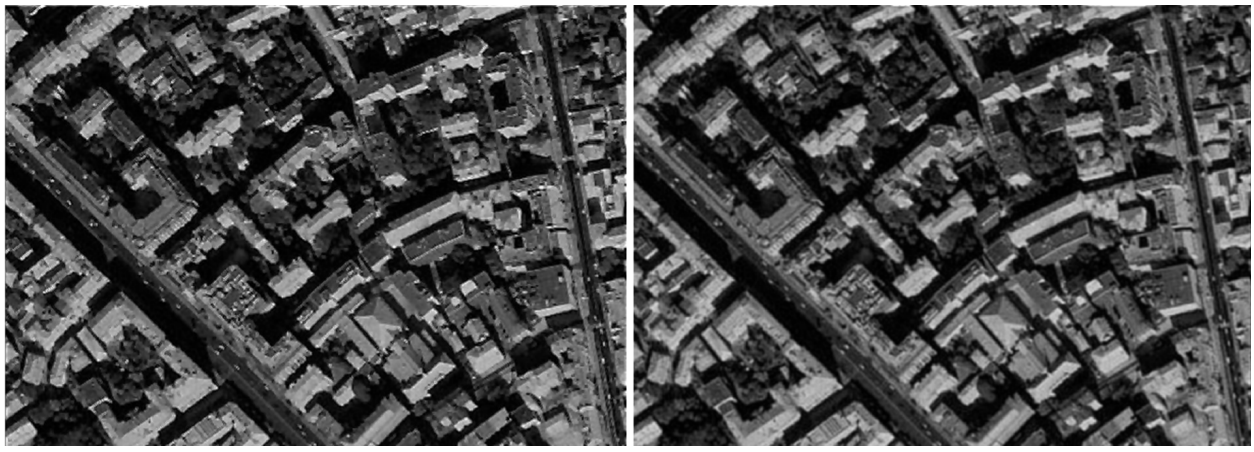


Рис. 2. Визуальное сравнение восстановления смазанного размытого изображения городской застройки на основе *TV*-регуляризатора и на основе L_2-регуляризатора

Решением этой задачи является выражение:

$$\left(h' * h + \mu\Delta\right) * q = h' * p + \mu div(\omega), \tag{10}$$

где $h'[x, y] = h[-x, -y]$ – ядро сопряженного оператора, Δ – сверточный дискретный оператор Лапласа, $div(\omega) = \partial'_x \omega_x + \partial'_y \omega_y$.

2) Обновление переменной $d = (d_x, d_y)$ по формуле «мягкого порога» (что соответствует проксимальному оператору, *soft-thresholding*):

$$shrink(z, \alpha) \to d, \quad z = (\partial_x q,\ \partial_y q) + b, \quad \alpha = \lambda / \mu,$$

где операция $b = (b_x, b_y)$, $z = (z_x, z_y)$ и операция $shrink(z, \alpha)$ выполняется покомпонентно, т.е. по z_x, z_y по отдельности:

$$shrink(z_x[x, y], \alpha) = sign(z_x[x, y]) \cdot \max(|z_x[x, y]| - \alpha, 0) \to d_x[x, y],$$
$$shrink\left(z_y[x, y], \alpha\right) = sign\left(z_y[x, y]\right) \cdot \max\left(\left|z_y[x, y]\right| - \alpha, 0\right) \to d_y[x, y].$$

Таблица 1. Сравнение по метрикам восстановленных изображений при использовании L_2-регуляризации и *TV*-регуляризации

Метрика	*L2*	*TV*
MSE	519,13	367,56
SSIM	0,82	0,81
MS-SSIM	0,95	0,94
BRISQUE	36,53	31,68
NIQE	4,84	4,01
PIQE	38,10	34,07

3) Обновление переменной b: $z - d \to b$.

Практические исследования показали, что для качественного восстановления снимка достаточно не более 5–10 итераций алгоритма *Split Bregman*, что несущественно усложняет вычисления по сравнению с использованием L_2-регуляризатора (асимптотически имеет ту же сложность).

Экспериментальное исследование

В качестве исследуемого изображения возьмем спутниковый снимок городской застройки с плотно расположенными зданиями и объектами (рис. 1). При этом смоделированное размытое изображение имеет параметр размытия σ = 1,5.

Восстановление изображения будет проводиться с использованием двух методов: на основе *TV*-регуляризатора и на основе L_2-регуляризатора (Тихоновская регуляризация). Результаты восстановления представлены на рис. 2.

Исходя из визуальных сравнений качества восстановления изображений, представленных на рис. 2, можно отметить, что левое изображение (*TV*-регуляризация) является менее размытым и содержит отчетливые контуры объектов. Правое же изображение (L_2-регуляризация) содержит размытые контуры объектов. Это наблюдение подтверждают и численные значения метрик оценки качества изображений.

В табл. 1 представлено сравнение восстановления смазанных размытых изображений с рис. 2 при использовании L_2- и *TV*-регуляризации.

Таким образом, качество восстановления размытого спутникового изображения выше в случае использования *TV*-регуляризатора как по визуальному сравнению, так и по численным оценкам в виде метрик. При этом вычислительная сложность алгоритма *Split Bregman* несущественно больше в сравнении с вычислительной сложностью алгоритма на основе L_2-регуляризации.

Заключение

Проведенные исследования показали, что метод восстановления размытых изображений на основе алгоритма *Split Bregman* с использованием *TV*-регуляризатора позволяет с высоким качеством восстанавливать спутниковые снимки при больших параметрах размытия σ.

При этом наибольшее преимущество (по сравнению с классической L_2-регуляризацией) описанный метод демонстрирует в случае, если на рассматриваемом изображении присутствует большое количество плотно расположенных друг к другу объектов, соизмеримых по величине с размером пикселя. В таких случаях целесообразно восстанавливать размытые снимки на основе алгоритма *Split Bregman* с использованием *TV*-регуляризации, несмотря на несущественное увеличение вычислительной сложности.

Литература

1. Домненко, В.М. Моделирование формирования оптического изображения / В.М. Домненко, М.В. Бурсов, Т.В. Иванова. – СПб. : НИУ ИТМО, 2011. – 141 с.

2. Сизиков, В.С. Устойчивые методы математико-компьютерной обработки изображений и спектров / В.С. Сизиков, А.Н. Довгань, А.В. Лавров. – СПб. : Ун-т ИТМО, 2022. – 70 с.

3. Сизиков, В.С. Новые устойчивые методы восстановления искаженных изображений / В.С. Сизиков, Н.Г. Рущенко // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2023. – Т. 66. – № 7. – С. 559–567. – DOI: 10.17586/0021-3454-2023- 66-7-559-567.

4. Ромаданова, М.М. Исследование решений проблемы краевых пикселей при выполнении пространственной фильтрации изображений / М.М. Ромаданова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 12(183). – С. 120–127.

5. Федоров, В.Б. Восстановление изображений с использованием дискретной функции рассеяния точки, получаемой с учетом конечности размера пикселя / В.Б. Федоров, С.Г. Харламов, А.В. Федоров // Russian Technological Journal. – 2025. – № 13(2). – С. 143–154.

6. Василенко, Г.И. Теория восстановления сигналов: о редукции к идеальному прибору в физике и технике / Г.И. Василенко. – М. : Сов. радио, 1979. – 272 с.

7. Fedorov, V.B. Estimation of the Gaussian blur parameter by comparing histograms of gradients with a standard image / V.B. Fedorov, S.G. Kharlamov // Russian Technological Journal. – 2025. – Vol. 13(6). – P. 139–147. – DOI: 10.32362/2500-316X-2025-13-6-139-147. – EDN OVEHAM.

8. Debarnot, V. Deep-blur: Blind identification and deblurring with convolutional neural networks / V. Debarnot, P. Weiss // Biological Imaging. – 2024. – Vol. 4. – Art. e13.

9. Cho, T.S. Blur kernel estimation using the Radon Transform / T.S. Cho, S. Paris, B.K.P. Horn, W.T. Freeman // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011. – P. 241–248.

10. Goldstein, T. The Split Bregman Method for L1-Regularized Problems / T. Goldstein, S. Osher // SIAM Journal on Imaging Sciences. – 2009. – Vol. 2. – No. 2. – P. 323–343.

References

1. Domnenko, V.M. Modelirovanie formirovaniya opticheskogo izobrazheniya / V.M. Domnenko, M.V. Bursov, T.V. Ivanova. – SPb. : NIU ITMO, 2011. – 141 s.

2. Sizikov, V.S. Ustojchivye metody matematiko-kompyuternoj obrabotki izobrazhenij i spektrov / V.S. Sizikov, A.N. Dovgan, A.V. Lavrov. – SPb. : Un-t ITMO, 2022. – 70 s.

3. Sizikov, V.S. Novye ustojchivye metody vosstanovleniya iskazhennykh izobrazhenij / V.S. Sizikov, N.G. Rushchenko // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Priborostroenie. – 2023. – T. 66. – № 7. – S. 559–567. – DOI: 10.17586/0021-3454-2023- 66-7-559-567.

4. Romadanova, M.M. Issledovanie reshenij problemy kraevykh pikselej pri vypolnenii prostranstvennoj filtratsii izobrazhenij / M.M. Romadanova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 12(183). – S. 120–127.

5. Fedorov, V.B. Vosstanovlenie izobrazhenij s ispolzovaniem diskretnoj funktsii rasseyaniya tochki, poluchaemoj s uchetom konechnosti razmera pikselya / V.B. Fedorov, S.G. KHarlamov, A.V. Fedorov // Russian Technological Journal. – 2025. – № 13(2). – S. 143–154.

6. Vasilenko, G.I. Teopiya vosstanovleniya signalov: o peduktsii k idealnomu ppibopu v fizike i tekhnike / G.I. Vasilenko. – M. : Sov. padio, 1979. – 272 s.

© В.Б. Федоров, С.Г. Харламов, 2026

УДК 51-76

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОНА: КАК АЛАН ХОДЖКИН ПРЕВРАТИЛ БИОЛОГИЮ В ТОЧНУЮ НАУКУ

Д.Д. ЯБЛОНСКИЙ, Д.В. ЯБЛОНСКИЙ

Филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Саров;
Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского», г. Арзамас

Ключевые слова и фразы: модель Ходжкина – Хаксли; ионные каналы; *voltage clamp*; нейроны; астроциты.

Аннотация: В статье рассматривается междисциплинарный подход А. Ходжкина, сформировавший концептуальный и методологический фундамент количественного языка современной нейрофизиологии. Цель – показать, как синтез биологического наблюдения, физико-математического моделирования и инженерного эксперимента (*voltage clamp*) превратил нейрофизиологию в точную науку. Задачи: проследить формирование научного стиля Ходжкина, проанализировать ключевые элементы прорыва и показать влияние его подхода на дальнейшие открытия. Выдвигается гипотеза, что именно этот синтез обеспечил нейронауку универсальным инструментарием познания мозга. Методы: биографический, историко-научный и междисциплинарный синтез. Достигнутые результаты: подход, реализованный на гигантском аксоне кальмара, привел к созданию математической модели, объяснившей ионную природу импульса; инструментарий Ходжкина лег в основу главных направлений нейронауки; разработанный им методологический принцип обеспечил переход нейронауки от описания клетки к моделированию нейрон-глиальных ансамблей – основы сознания.

В середине XX в. наука пыталась расшифровать сигналы нейрона, но нейрон оставался «черным ящиком». Прорыв совершил Алан Ллойд Ходжкин (1914–1998), натуралист, физик и инженер в одном лице. Он не только открыл ионную природу импульса, но и создал количественный язык для диалога с клеткой, основанный на точных числах и прогнозах. Этот язык основывался не на качественных описаниях, а на точных числах, количественных прогнозах и инженерной логике.

Цель статьи – показать, как междисциплинарный синтез (биология, физика, математика, инженерия) позволил Ходжкину превратить нейрофизиологию в точную науку. Задачи: проследить формирование его стиля; проанализировать ключевые элементы прорыва (гигантский аксон кальмара, метод *voltage clamp*, модель Ходжкина – Хаксли); показать влияние подхода на дальнейшие открытия.

Основные методы, использованные в статье: биографический метод использовался в анализе жизненного пути, образования, среды и увлечений Ходжкина для объяснения генезиса его идей; историко-научный метод – в реконструкции развития научной проблемы, которую решал Ходжкин; метод междисциплинарного синтеза позволил интегрировать подходы из разных наук (биология, физика, математика, инженерия) как на главном факторе успеха.

В историко-научной литературе феномен революционного прорыва Ходжкина и Хаксли традиционно анализируется либо в контексте физиологических открытий [1; 3; 8], либо с позиции развития математического моделирования в биологии [6; 16]. Автобиография [9] и научные статьи Ходжкина [10; 11; 12; 13], а также обобщающие труды по истории нейрофизиоло-

гии [15; 17] подробно воспроизводят хронологию экспериментов, но редко фокусируются на анализе междисциплинарного синтеза как самостоятельного методологического феномена. Работы, посвященные роли инженерных методов [5], рассматривают технические аспекты *voltage clamp*, не связывая их в единую систему с натуралистическим наблюдением и математической строгостью. Настоящее исследование восполняет этот пробел, рассматривая уникальный синтез биологического, физико-математического и инженерного подходов в научном стиле Ходжкина как главный фактор превращения нейрофизиологии в точную науку.

Результаты и обсуждение. А. Ходжкин родился в семье квакеров, учился в школах Малверна и Холта, затем в Тринити-колледже Кембриджа. Изначально он планировал изучать историю, но родители поощряли его интерес к естествознанию [9, p. 3–34]. В школе проявилась страсть к орнитологии: в 15 лет он помогал орнитологу У.Б. Александеру, а в 1930 г. завоевал бронзовую медаль в конкурсе Королевского общества защиты птиц и получил стипендию Кембриджа. Любовь к природе воспитала в нем навык наблюдения за живыми системами. В Кембридже он увлекся физиологией нейронов, при этом участвовал в зоологической экспедиции в Атлас. Однако зоолог К. Пантен посоветовал заняться точными науками, и Ходжкин увлекся математикой и физикой. Сочетание натуралиста и физика-математика стало основой его междисциплинарного подхода. Научная среда Кембриджа, где в то время работали нобелевские лауреаты, – Дж. Томсон, Э. Резерфорд, Ф.Г. Хопкинс, – во многом определила становление Ходжкина. Здесь сформировался его круг общения из талантливых ученых: биохимик Р. Сидж, бактериолог и иммунолог Дж. Хамфри, биофизик Д. Хилл [9, p. 49]. Общение с Э. Эдрианом, пионером в изучении нейронных импульсов, и У.А.Х. Раштоном, автором кабельной теории для аксонов, сформировало убеждение, что нерв – не «таинственная сущность», а физическая система, которую можно измерить и описать математически [15, p. 174–177].

В физиологии того времени остро стоял вопрос о механизмах распространения сигнала по нервным клеткам. Связь этого процесса с электричеством отмечали еще Л. Гальвани и Р. Кэтон. В начале XX в. Дж. Бернштейн предложил мембранную теорию нервного импульса, но ее количественная проверка была недоступна [1, с. 12–16; 5].

Ходжкин в 1934 г. начал эксперименты по изучению электрической активности в седалищном нерве лягушки, впервые применив внутриклеточный микроэлектрод [9, p. 63]. В ходе опытов он установил, что нервный импульс, достигая холодового или компрессионного блока, способен понижать электрический порог за пределами блока. Это позволило предположить, что импульс инициирует распространение электротонического потенциала в нерве за пределами блока [10, p. 183–210]. Это был серьезный шаг вперед к будущим прорывам.

Исследование не только обеспечило ему стипендию Кембриджа, но и привело к приглашению в 1936 г. в Рокфеллеровский институт в Нью-Йорке, где он сотрудничал с Р.Л. де Но и К.С. Коулом [9, p. 89–103, 113–122].

В американской лаборатории Вудс-Хоул Ходжкин открыл гигантский аксон кальмара как модель: его диаметр (до 1 мм) позволял вводить проволочные электроды в цитоплазму, что невозможно для нейронов млекопитающих. В Сент-Луисе в дискуссии с Эрлангером о теории локальных цепей Ходжкин доказал, что сопротивление внешней жидкости влияет на скорость импульса. Опыты на крабах показали: в морской воде скорость выше, чем в масле. Позже он подтвердил это на аксоне кальмара [9, p. 113–117].

В 1938 г. Алан вернулся в Кембридж, получил грант и создал лабораторию физиологии, аналогичную американской. Его помощником стал талантливый студент Э.Ф. Хаксли [9, p. 123–136; 15, p. 180–183]. Их перспективные эксперименты по нервной проводимости прервала Вторая мировая война.

В течение шести лет Ходжкин занимался разработкой бортовых радаров, включая системы ночного видения и устройства сканирования для авиации [9, p. 139–152; 15, p. 189–190]. Позже этот инженерный опыт напрямую повлиял на использование установки *voltage clamp* и анализ данных как «сигналов».

После войны Ходжкин возобновил работу в Кембридже вместе с Э. Хаксли и при участии Б. Каца. Они продолжили опыты с аксоном кальмара. Для исследований использовался упомянутый выше метод *voltage clamp*. Метод *voltage clamp* представляет собой классическую инженерную схему с отрицательной обратной связью. Разработана она была К.С.

Коулом и Дж. Мармором [17, p. 2572–2573; 15, p. 212–213]. Ходжкин и Хаксли блестяще применили и усовершенствовали ее для исследований живой клетки [11, p. 339–409; 8, p. 44–58, 490–502]. Метод позволял напрямую измерять токи на заданном потенциале. Таким образом исследователи определили ионную природу потенциала действия и выдвинули гипотезу о существовании ионных каналов [12, p. 37–77]. Последовательность деполяризации клеточной мембраны, при которой небольшая деполяризация приводит к увеличению проницаемости для натрия, что, в свою очередь, вызывает приток ионов натрия и дальнейшую деполяризацию мембраны, теперь известна как цикл Ходжкина [11, p. 339–409].

Эмпирические данные, полученные в ходе эксперимента с аксоном кальмара, легли в основу построения количественной математической модели в 1952 г. – системы нелинейных дифференциальных уравнений [9, p. 299–303; 16, p. 9–21]. Модель Ходжкина – Хаксли описывала динамику ионных каналов и с математической точностью воспроизводила и предсказывала форму потенциала действия, его скорость и рефрактерный период [6, p. 868–893; 17, p. 2573–2574]. Впервые биологическое явление получило не только качественное объяснение, но и полноценное количественное выражение. Расчеты на механическом калькуляторе Ходжкина и Хаксли заложили основы вычислительной нейробиологии.

Фундаментальные открытия Ходжкина и Хаксли были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине (премия была разделена с Дж. Экклзом, присужденная за исследования синаптической передачи) [9, p. 361–370]. Примечательно, что Ходжкин был номинирован на Нобелевскую премию еще в 1953 г.

Созданный учеными язык породил новые открытия и целые научные направления [6, p. 893–894; 16, p. 5–6, 22; 17, p. 2575]. После того как механизм генерации потенциала действия через движение ионов был установлен, встал следующий вопрос о том, как клетка восстанавливает исходный ионный баланс после прохождения нервного импульса. Совместно с Р. Кейнсом Ходжкин обнаружил секреторный механизм, выводящий натрий и поглощающий калий против электрохимических градиентов [13]. Позже датский биохимик Йенс Скоу идентифицировал молекулярную основу этого процесса – фермент, известный как натрий-калиевая аденозинтрифосфатаза (*Na+/K+ATPase*,*Na+/K+ pump*). Этот фермент использует энергию АТФ для того, чтобы вывести три иона натрия и импортировать два иона калия, за что Скоу был удостоен Нобелевской премии по химии в 1997 г.

Гипотеза Ходжкина – Хаксли о существовании ионных каналов на клеточных мембранах была подтверждена лишь спустя десятилетия. В 1970–80-е гг. Э. Неэр и Б. Сакман на основе метода *patch-clamp* смогли зарегистрировать ток через одиночный канал, доказав реальность каналов. За это открытие они получили Нобелевскую премию в 1991 г. [7]. Это, в свою очередь, открыло дорогу молекулярной биологии, которая клонировала гены этих каналов и позволила увидеть их структуру с помощью криоэлектронной микроскопии.

Инструментарий Ходжкина позволил выйти за рамки нейронов и изучать глиальные клетки, например, астроциты. Оказалось, что они активно участвуют в синаптической передаче, регуляции нейротрансмиттеров и синхронизации нейронных сетей – процессах, критических для памяти, внимания и сознания. Дисфункция этих сложных нейрон-глиальных ансамблей лежит в основе многих неврологических расстройств.

Все эти процессы стало возможно исследовать благодаря идеям, уходящим корнями в наследие А. Ходжкина. Сложные компьютерные модели нейрон-глиальных сетей основаны на уравнениях Ходжкина – Хаксли [2]. *Patch-clamp* и его специализированные версии (астроглиальный *voltage clamp*) позволяют изучать ионные каналы и рецепторы астроцитов. Оптогенетика и хемогенетика, применяемые для контроля активности астроцитов, являются логическим развитием идей управления возбудимостью клетки [3].

Подход Ходжкина заложил основы современной нейрофармакологии. Понимание ионных каналов стало фундаментом для разработки целых классов лекарств: от антиконвульсантов (ламотриджин) и местных анестетиков до антиаритмиков.

Его идеи были использованы в крупнейшем швейцарском проекте по компьютерному моделированию мозга (*Blue Brain Project*, *Human Brain Project*) [14, p. 153–160].

В мемуарах Ходжкин писал: «Цель состоит не в том, чтобы свести биологию к физике и химии, а в том, чтобы использовать методы этих

наук для решения биологических проблем» [9, p. 278]. Этот принцип стал его научным кредо. Он создал мост между дисциплинами, превратив диалог с нейроном из метафоры в точную научную практику, языком которой сегодня говорит вся нейронаука.

Заключение. Алан Ходжкин – архитектор революции в нейрофизиологии. Его подход, зародившийся для исследования нейрона, стал ключом к пониманию связи между нейронами и глией. Его научный стиль сформировался на стыке дисциплин.

Уникальность метода Ходжкина в синтезе биологического наблюдения, воспитанного орнитологией, математической строгости, усвоенной через математику и физику, инженерной изобретательности, развитой во время работы над радарами. Триада – биологическая модель (гигантский аксон кальмара), инженерный метод измерения *voltage clamp* и математический язык описания (модель в виде системы дифференциальных уравнений) – стала универсальным исследовательским инструментом.

Таким образом, Алан Ходжкин оставил после себя не просто конкретную теорию, а универсальный исследовательский инструментарий и эталон научного мышления, которые продолжают питать прогресс в понимании мозга на всех уровнях – от молекулярного до системного. Его подход позволил нейронауке перейти от количественного описания одиночной клетки к моделированию сложного взаимодействия в нейрон-глиальных ансамблях, лежащих в основе мыслей, чувств и сознания.

Литература

1. Кольс, О.Р. Биофизика ритмического возбуждения / О.Р. Кольс, Г.В. Максимов, Ч.Н. Раденович. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.

2. Яблонский, Д.Д. Астроцитарно-индуцированная перемежающаяся синхронизация нейронов в малых ансамблях / Д.Д. Яблонский, С.Ю. Маковкин // Труды XXVIII научной конференции по радиофизике. – Нижний Новгород, 2024. – С. 166–172.

3. Bang J., Kim H.Y., Lee H. Optogenetic and Chemogenetic Approaches for Studying Astrocytes and Gliotransmitters // Experimental Neurobiology. – 2016. – Vol. 25, №. 5. – P. 205–221. – DOI: 10.5607/en.2016.25.5.205.

4. Bernstein J. Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven – und Muskelsysteme. Saarbrücken : VDM, Müller, 2007. 240 s.

5. Cole K.S. Membranes, Ions and Impulses: A Chapter of Classical Biophysics. Berkeley: University of California Press. 569 p. DOI: 10.2307/jj.8501406.

6. Fitzhugh R. Thresholds and Plateaus in the Hodgkin-Huxley Nerve Equations. J Gen Physiol. 1960. – 43(5). – P. 867– 896. DOI: 10.1085/jgp.43.5.867.

7. Hamill O.P., Marty A., Neher E., Sakmann B., Sigworth F.J. Improved Patch-Clamp Techniques for High-Resolution Current Recording from Cells and Cell-Free Membrane Patches // Pflügers Archiv European Journal of Physiology. – 1981. – Vol. 391, №. 2. – P. 85–100. – DOI: 10.1007/BF00656997.

8. Hille B. Ion Channels of Excitable Membranes, Neurons. – Sunderland, Mass.: Sinauer, Cop. 1992. – 610 p.

9. Hodgkin A.L. Chance and Design: Reminiscences of Science in Peace and War. – Cambridge : Cambridge University Press, 1992. – 412 p.

10. Hodgkin A. L. Evidence for Electrical Transmission in Nerve. Part I // The Journal of Physiology. – 1937. – Vol. 90, №. 2. – P. 183–210.

11. Hodgkin A.L. The Ionic Basis of Electrical Activity in Nerve And Muscle // Biological Reviews. – 1951. – Vol. 26, №. 4. – P. 339–409. – DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1951.tb01204.x.

12. Hodgkin A.L., Katz B. The Effect of Sodium Ions on the Electrical Activity of the Giant Axon of the Squid // Journal of Physiology. – 1949. – Vol. 108, №. 1. – P. 37–77.

13. Hodgkin A.L., Keynes R.D. Active Transport of Cations in Giant Axons from Sepia and Loligo // The Journal of Physiology. – 1955. – Vol. 128, №. 1. – P. 28–60. – DOI: 10.1113/jphysiol.1955.sp005290.

14. Markram H. The blue brain project // Nature Reviews Neuroscience. – 2006. – Vol. 7, №. 2. – P. 153–160. – DOI: 10.1038/nrn1848.

15. McComas A.J. Galvani's Spark: The Story of the Nerve Impulse. – New York: Oxford

University Press, 2011. – 391 p.

16. Rinzel J. Discussion: Electrical excitability of cells, theory and experiment: Review of the Hodgkin-Huxley foundation and an update // Bltn Mathcal Biology. – 1990. – № 52. P. 3–23. – DOI: 10.1007/BF02459567.

17. Schwiening CJ. A Brief Historical Perspective: Hodgkin and Huxley // J Physiol. – 2012. – 590 (11). – P. 2571–2575. – DOI: 10.1113/jphysiol.2012.230458.

References

1. Kols, O.R. Biofizika ritmicheskogo vozbuzhdeniya / O.R. Kols, G.V. Maksimov, CH.N. Radenovich. – M. : Izd-vo MGU, 1993. – 208 s.

2. YAblonskij, D.D. Astrotsitarno-indutsirovannaya peremezhayushchayasya sinkhronizatsiya nejronov v malykh ansamblyakh / D.D. YAblonskij, S.YU. Makovkin // Trudy XXVIII nauchnoj konferentsii po radiofizike. – Nizhnij Novgorod, 2024. – S. 166–172.

© Д.Д. Яблонский, Д.В. Яблонский, 2026

УДК 004.032.26

МЕТОДЫ УЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ: АДАПТИВНАЯ СТАЦИОНАРИЗАЦИЯ

А.В. ЯКУШОВ, В.В. КУЗИНА

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза

Ключевые слова и фразы: финансовый временной ряд; нестационарность; нейронная сеть; адаптивная стационаризация; локальная нормализация; детрендирование; *MLP*; прогнозирование; Московская биржа.

Аннотация: В работе рассматривается задача повышения устойчивости нейросетевых моделей к нестационарности финансовых временных рядов. Цель исследования состоит в разработке метода адаптивной стационаризации, который выбирает форму локального преобразования входного окна в зависимости от текущего режима ряда и затем объединяет прогнозы нескольких нейросетевых экспертов. Для достижения цели решены следующие задачи: 1) формализованы индикаторы локальной нестационарности окна; 2) предложен ансамбль нейросетевых экспертов, работающих на разных представлениях ряда; 3) проведена эмпирическая проверка на реальных рядах Московской биржи. Научная новизна работы заключается в том, что выбор формы стационаризации осуществляется не глобально для всего датасета, а локально, на уровне каждого окна наблюдений, после чего частные прогнозы комбинируются с учетом текущего режима ряда.

Предлагаемый подход сочетает четыре представления данных: исходный ряд без преобразования, локальную нормализацию, первое разностное преобразование и локальное детрендирование. Вес каждого представления вычисляется по индикаторам локального сдвига среднего, изменения дисперсии и линейного тренда. Эмпирическая проверка выполнена на реальных рядах закрытия акций *SBER*, *GAZP* и *LKOH*, обращающихся на Московской бирже. Для сравнения использованы однослойные *MLP*-модели с фиксированной предобработкой. Получено, что предложенный метод обеспечивает наилучший средний ранг по *MAPE* и *NRMSE* на трех датасетах и демонстрирует более устойчивое качество на неоднородных режимах, чем любая одиночная схема стационаризации. Научная новизна состоит в формализации режимно-ориентированного механизма выбора преобразования входных окон для нейросетевого прогноза коротких финансовых рядов.

Проблема нестационарности является одной из центральных в анализе финансовых временных рядов. В классической эконометрике она проявляется в сдвиге среднего, изменении дисперсии, структурных разрывах и режимных переключениях [1–4]. Для нейросетевых моделей эта проблема не менее существенна: обученная на одном участке распределения сеть теряет точность при смене локального режима, поскольку статистические характеристики входа и целевой переменной перестают соответствовать условиям обучения. На практике это приводит к росту ошибок в точках ускорения тренда, после новостных шоков и в переходах между фазами консолидации и направленного движения.

Современные архитектуры прогнозирования временных рядов – от *LSTM* до *N-BEATS*, *TFT* и трансформеров – демонстрируют высокую выразительную способность, однако сами по себе не устраняют эффект распределительного сдвига [5–7]. Это особенно заметно на финансовых рядах, где локальная структура данных может меняться быстрее, чем успевает обновиться модель. В последние годы проблема стала предметом отдельного направления ис-

следований: появляются работы по обратимой нормализации и де-стационаризирующим механизмам внимания, направленные на сохранение информативности исходного сигнала при одновременном снижении статистической неоднородности.

Исследователь заранее выбирает одно преобразование – например, разности, *z*-нормализацию или детрендирование – и использует его для всех окон ряда. Такой подход удобен, но методически уязвим: преобразование, полезное для участка со сменой дисперсии, может ухудшать прогноз в окне, где доминирует тренд.

Пусть задан одномерный ряд закрытия x_t, $t = 1, \ldots, T$. Требуется по последним L-наблюдениям оценить следующее значение x_{t+1}. В работе использовано окно длины $L = 5$, что соответствует короткому горизонту прогноза и позволяет явно анализировать поведение преобразований на малых локальных фраг-ментах.

В качестве базового эксперта рассматривается *MLP*-модель прямого распространения. Для исходного ряда вход имеет вид $z_t^{(0)} = [x_{t-L+1}, \ldots, x_t]$. Для альтернативных представлений определены три локальные схемы стационаризации.

Локальная нормализация:

$$z_t^{(1)} = \frac{x_{t-L+1:t} - \mu_t}{\sigma_t},$$

где μ_t и σ_t – среднее и стандартное отклонение внутри окна. Такое преобразование ослабляет влияние сдвига уровня и изменения масштаба.

Первое разностное преобразование:

$$z_t^{(2)} = [x_{t-L+2} - x_{t-L+1}, \ldots, x_t - x_{t-1}].$$

Оно ориентировано на подавление низкочастотного тренда и перевод ряда к приращениям.

Локальное детрендирование: внутри окна оценивается линейный тренд $x_\tau \approx a_t + b_t\tau$, после чего формируется остаточный вектор $z_t^{(3)} = x_{t-L+1:t} - (a_t + b_t\tau)$. Такой вариант сохраняет форму локальных отклонений, но уменьшает детерминированную направленность.

Предлагаемый метод включает четыре экспертные ветви: *MLP_raw*, *MLP_norm*, *MLP_diff* и *MLP_detr*. Первые три ветви получают соответственно $z_t^{(0)}$, $z_t^{(1)}$, $z_t^{(2)}$, $z_t^{(3)}$ и формируют частные прогнозы $\hat{y}_{t+1}^{(k)}$. Для выбора весов использованы три индикатора локального режима. Окно делится на две половины, после чего вычисляются:

$$\Delta\mu_t = \frac{|\mu_{2,t} - \mu_{1,t}|}{\sigma_t}, \quad \Delta\sigma_t = \left|\frac{\sigma_{2,t}}{\sigma_{1,t}} - 1\right|, \quad \beta_t = \frac{|b_t|L}{\sigma_t}..$$

Индикатор $\Delta\mu_t$ отражает локальный сдвиг среднего, $\Delta\sigma_t$ – относительное изменение дисперсии, β_t – интенсивность линейного тренда. На их основе задаются режимные оценки $q_t^{(0)} = 1/(\Delta\mu_t + \Delta\sigma_t + \beta_t + \varepsilon)$, $q_t^{(1)} = \Delta\sigma_t$, $q_t^{(2)} = \Delta\mu_t$, $q_t^{(3)} = \beta_t$, где $\varepsilon > 0$ – малый стабилизирующий параметр.

Нормированные веса экспертов определяются *softmax*-преобразованием:

$$\pi_t^{(k)} = \frac{\exp\left(q_t^{(k)}\right)}{\sum_j \exp\left(q_t^{(f)}\right)}, \quad k = 0, 1, 2, 3.$$

Итоговый прогноз вычисляется как взвешенная сумма: $\hat{y}_{t+1} = \sum_{k=0}^{3} \pi_t^{(k)} \hat{y}_{t+1}^{(k)}$. В отличие от фиксированной предобработки, такая схема позволяет сохранить исходный сигнал на спокойных участках и усиливать более агрессивные формы стационаризации при росте локальной нестабильности.

Архитектура экспертов выбрана минималистичной, чтобы сравнение было сосредоточено именно на роли предобработки. Для ветвей *raw*, *norm* и *detr* использована *MLP* 5–6–1, для ветви *diff* – 4–6–1. Скрытый слой имеет активацию *tanh*, обучение выполнялось алгоритмом *Adam*; признаки и целевая переменная стандартизировались только по обучающему сегменту. Такой протокол уменьшает влияние масштаба ряда и делает сравнение преобразований корректным.

Эмпирическая проверка проведена на трех реальных рядах Московской биржи: *SBER*, *GAZP* и *LKOH*. Использованы дневные цены закрытия, доступные на открытых страницах исторических данных по состоянию на март 2026 г. Краткая характеристика выборок приведена в табл. 1.

Для оценки качества использованы *RMSE*, *MAE*, *MAPE* и нормированная ошибка $NRMSE = RMSE/\bar{x}_{test}\cdot 100$ %. Поскольку масштабы рядов существенно различаются, основное

Таблица 1. Характеристика экспериментальных выборок

Ряд	Период начала	Период конца	*N* точек	*N* окон	Обучение	Тест	Среднее закрытие	σ
SBER	2026-02-03	2026-03-01	25	20	14	6	309,41	5,69
GAZP	2026-01-16	2026-02-13	29	24	16	8	125,98	1,73
LKOH	2026-02-03	2026-03-02	26	21	14	7	5206,15	87,97

Таблица 2. Результаты на ряде *SBER*

Метод	*RMSE*	*MAE*	*MAPE*, %	*NRMSE*, %
Без стационаризации	2,2122	1,8498	0,5848	0,7008
Локальная нормализация	1,7395	1,3920	0,4417	0,5511
Разности	1,9150	1,4910	0,4728	0,6067
Детрендирование	2,0935	1,6430	0,5205	0,6632
Адаптивная стационаризация	1,1593	0,9825	0,3114	0,3672

Таблица 3. Результаты на ряде *GAZP*

Метод	*RMSE*	*MAE*	*MAPE*, %	*NRMSE*, %
Без стационаризации	1,8281	1,3830	1,1115	1,4609
Локальная нормализация	3,3050	2,7944	2,2320	2,6412
Разности	4,4670	3,7484	2,9846	3,5698
Детрендирование	2,4819	2,2376	1,7886	1,9834
Адаптивная стационаризация	2,9572	2,5603	2,0475	2,3632

Таблица 4. Результаты на ряде *LKOH*

Метод	*RMSE*	*MAE*	*MAPE*, %	*NRMSE*, %
Без стационаризации	137,4659	110,7240	2,0658	2,6042
Локальная нормализация	78,5376	63,5159	1,1908	1,4879
Разности	98,2783	79,4873	1,4874	1,8618
Детрендирование	103,6230	76,8613	1,4524	1,9631
Адаптивная стационаризация	95,6863	73,7671	1,3854	1,8127

Таблица 5. Сводная оценка методов на трех датасетах

Метод	*MAPE* ср., %	*NRMSE* ср., %	Средний ранг *MAPE*	Средний ранг *NRMSE*
Без стационаризации	1,2540	1,5887	3,67	3,67
Локальная нормализация	1,2882	1,5601	2,33	2,33
Разности	1,6483	2,0128	4,00	3,67
Детрендирование	1,2538	1,5366	3,00	3,33
Адаптивная стационаризация	1,2481	1,5144	2,00	2,00

внимание в сравнительном анализе уделено *MAPE*, *NRMSE* и среднему рангу метода на совокупности датасетов.

Результаты по каждому датасету приведены в табл. 2–4. Во всех таблицах сравниваются пять вариантов: нейросеть без стационаризации, локальная нормализация, первое разностное преобразование, локальное детрендирование и предлагаемый адаптивный метод.

На ряде *SBER* предлагаемый метод оказался лучшим по всем четырем метрикам. Его *MAPE* составила 0,3114 %, тогда как для лучшего фиксированного конкурента – локальной нормализации – 0,4417 %. Это означает, что при умеренно выраженных сдвигах уровня и волатильности адаптивное переключение между ветвями позволяет заметно повысить краткосрочную точность.

На ряде *GAZP* лучший локальный результат показала сеть без стационаризации. Такой исход указывает, что не всякий короткий фрагмент требует агрессивного преобразования: на некоторых участках исходная форма ряда сохраняет достаточную предсказуемость. Тем не менее адаптивный метод занял третье место и превзошел варианты с фиксированной нормализацией и разностным представлением.

На ряде *LKOH* лучшей оказалась локальная нормализация, тогда как адаптивный подход занял второе место. Это согласуется с визуальной характеристикой выбранного фрагмента: основной эффект нестационарности здесь связан скорее с изменением масштаба и уровня, чем с резким ростом локального тренда. Тем самым полученный результат подтверждает содержательную интерпретируемость предложенной схемы.

Для сводной оценки была рассчитана средняя *MAPE*, средняя *NRMSE* и средний ранг на трех датасетах (табл. 5).

Как видно из табл. 5, предложенный метод имеет наименьшую среднюю *MAPE* (1,2481 %) и наименьшую среднюю *NRMSE* (1,5144 %), а также лучший средний ранг: 2,00 по *MAPE* и 2,00 по *NRMSE*. Для сравнения, ближайший конкурент – локальная нормализация – имеет средний ранг 2,33. Таким образом, несмотря на то что на отдельных фрагментах может выигрывать одно фиксированное преобразование, адаптивная схема обеспечивает наиболее устойчивое качество в совокупности.

Полученные результаты позволяют сделать несколько выводов. Во-первых, нестационарность в коротких финансовых окнах неоднородна по своей природе. На одном фрагменте доминирует смена масштаба, на другом – локальный тренд, на третьем – резкий сдвиг уровня. Поэтому стратегия единственной предобработки неизбежно оказывается компромиссом. Во-вторых, сама по себе стационаризация не гарантирует улучшения: пример ряда *GAZP* показывает, что избыточное преобразование может удалить информативную компоненту. Следовательно, важен не только выбор преобразования, но и механизм его применения.

Предлагаемый метод можно интерпретировать как мягкую систему экспертного выбора. В отличие от жесткого правила «если – то», он не назначает одно преобразование детерминированно, а распределяет веса между несколькими ветвями. Это снижает риск ошибочного выбора режима при пограничных состояниях ряда и делает схему устойчивее к шуму. В этом отношении подход близок к современным идеям локальной нормализации и дестационаризации, однако в предлагаемой реализации акцент пере-

несен на короткие окна и простые нейронные модели, что упрощает воспроизводимость и интерпретацию.

Практическая значимость метода состоит в том, что он может использоваться как внешний препроцессорный модуль для широкого класса архитектур: *MLP*, *LSTM*, *TCN* и трансформеров. В представленном эксперименте применена простая *MLP*, чтобы исключить влияние избыточной архитектурной сложности и показать собственный эффект адаптивной стационаризации.

Ограничения исследования также должны быть обозначены явно. Во-первых, эксперимент выполнен на относительно коротких фрагментах последних доступных котировок. Во-вторых, анализируется только одномерный ряд закрытия без объема, внутридневной информации и новостных факторов. В-третьих, в работе не выполнялись формальные тесты статистической значимости различий прогнозной точности типа *Diebold–Mariano* из-за малого объема тестовых сегментов.

Поэтому следующие этапы исследования должны включать многолетний бэктест, расширение множества режимных индикаторов и переход к обучаемому механизму гейтинга.

В статье разработан метод адаптивной стационаризации финансовых временных рядов для нейросетевого прогноза. Метод основан на сочетании четырех экспертных представлений окна – исходного ряда, локальной нормализации, разностей и детрендирования – с мягким выбором весов по индикаторам локальной нестационарности.

Эмпирическая проверка на реальных рядах *SBER*, *GAZP* и *LKOH* Московской биржи показала, что предложенный подход обеспечивает наилучший средний результат по *MAPE* и *NRMSE* и лучший средний ранг среди сравниваемых схем. Это подтверждает гипотезу о том, что для коротких финансовых рядов более эффективным является не единое глобальное преобразование, а локальная режимно-зависимая стационаризация.

Следовательно, поставленная цель исследования достигнута: предложен и апробирован новый метод учета нестационарности временных рядов в нейронных сетях. Перспективы дальнейшей работы связаны с расширением датасетов, включением дополнительных рыночных признаков и переносом механизма адаптивной стационаризации на более сложные архитектуры глубокого обучения.

Литература/References

1. Box, G.E.P. Time Series Analysis: Forecasting and Control : 5th ed. / G.E.P. Box, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel, G.M. Ljung. – Hoboken : Wiley, 2015. – 712 p.

2. Engle, R.F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation / R.F. Engle // Econometrica. – 1982. – Vol. 50. – No. 4. – P. 987–1007.

3. Bollerslev, T. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity / T. Bollerslev // Journal of Econometrics. – 1986. – Vol. 31. – No. 3. – P. 307–327.

4. Hamilton, J.D. A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle / J.D. Hamilton // Econometrica. – 1989. – Vol. 57. – No. 2. – P. 357–384.

5. Hyndman, R.J. Forecasting: Principles and Practice : 3rd ed. / R.J. Hyndman, G. Athanasopoulos. – Melbourne : OTexts, 2021. – 442 p.

6. Hochreiter, S. Long Short-Term Memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9. – No. 8. – P. 1735–1780.

7. Oreshkin, B.N. N-BEATS: Neural Basis Expansion Analysis for Interpretable Time Series Forecasting / B.N. Oreshkin, D. Carpov, N. Chapados, Y. Bengio // International Conference on Learning Representations (ICLR), 2020.

© А.В. Якушов, В.В. Кузина, 2026

УДК 620.91:697.4

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ПАРО- И ВОДОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НОВЫЕ ВАРИАНТЫ)

В.М. ФОКИН[1], С.В. НЕСТЕРЕНКО[2], И.В. СТЕФАНЕНКО[1], В.В. ФЕДОРОВ[2]

[1] ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
[2] ООО «Волгограднефтепроект»,
г. Волгоград

Ключевые слова и фразы: теплоснабжение; пароснабжение; водоснабжение; нефтегазоконденсатное месторождение.

Аннотация: Целью статьи является совершенствование теплоэнергетической системы теплоснабжения, пароснабжения и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений.

Была поставлена задача: разработать новые варианты тепло-, паро- и водоснабжения для повышения энергетической эффективности и расширения технологических возможностей систем теплоснабжения на объектах нефтегазовых сооружений.

Гипотеза исследования: одновременное использование на нефтегазоконденсатном месторождении действующих добывающих нефтегазоконденсатных скважин и использование артезианских скважин для работы многофункциональной гибридной теплоэнергетической системы теплоснабжения, включая паровые устройства, а также технологического оборудования и систем водоснабжения.

Метод исследования: обобщение существующих систем теплоснабжения, пароснабжения и водоснабжения на объектах нефтегазоконденсатных месторождений.

Достигнутые результаты: разработанная авторами схема позволяет повысить энергетическую эффективность и расширить технологические возможности теплоэнергетической системы теплоснабжения, пароснабжения и водоснабжения на нефтегазоконденсатных месторождениях. Это достигается за счет использования одновременно действующих добывающих нефтегазоконденсатных скважин и артезианской скважины для работы многофункциональной гибридной теплоэнергетической системы теплоснабжения и технологического оборудования.

Теплоэнергетические системы теплоснабжения с геотермальными и артезианскими скважинами, содержащими погружной насос, сепаратор, паровой котел и водогрейный котел, теплообменники для подогрева сетевой воды, газоаккумулирующее устройство, дизель-генератор, нефтехранилище, устройство водоочистки и другие устройства описаны в различных источниках, патентах и справочниках [1–7].

Недостатком приведенных теплоэнергетических систем теплоснабжения является малая эффективность, которая заключается в том, что не предусматривает использование воды геотермальных скважин для нужд холодного и горячего водоснабжения, а также для подпитки водой систем теплоснабжения водогрейного котла, а пластовая жидкость из геотермальных скважин используется только для технологических целей и теплоэнергетического оборудования.

Также недостатком системы теплоснабжения является ограниченная область применения самого флюида добывающих скважин – только для сепарации: на нефть, нефтяной газ и воду.

Авторами статьи разработана теплоэнергетическая система теплоснабжения, паро- и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений. Система включает новые варианты и предназначена для повышения энергетической эффективности, а также расширения технологических возможностей теплоэнергети-

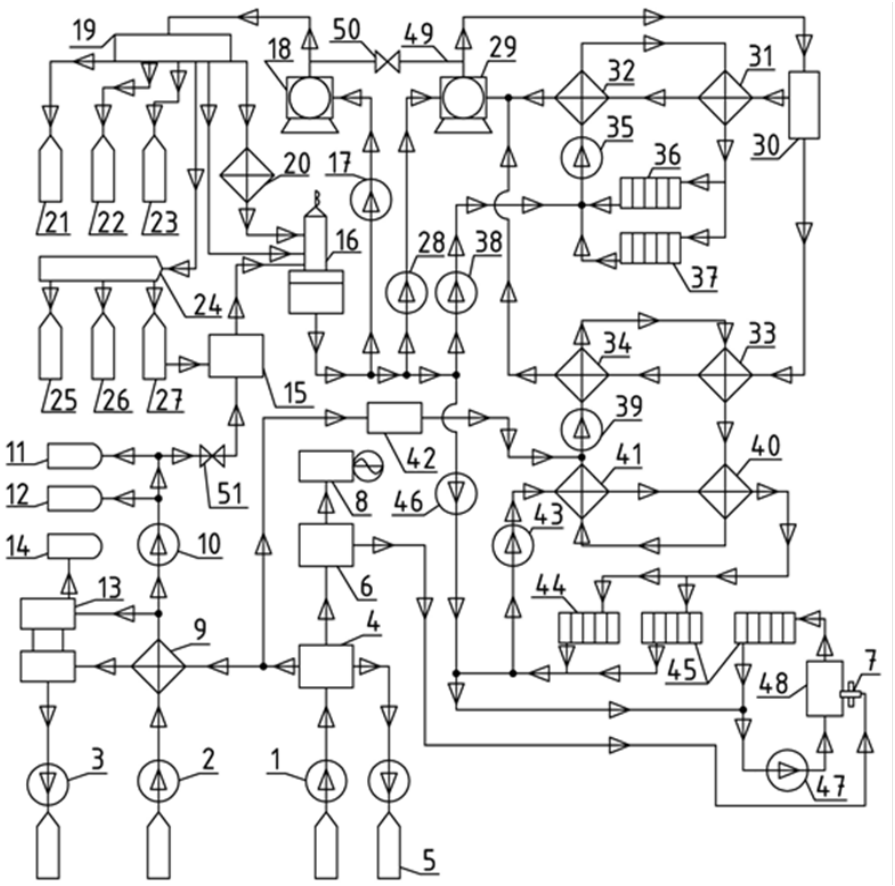


Рис. 1. Принципиальная схема системы теплоснабжения, паро- и водоснабжения нефтегазоконденсатных месторождений:
1 – действующая нефтегазоконденсатная добывающая скважина (ДС); 2 – артезианская скважина (АС); 3 – поглощающая скважина (ПС); 4 – установка сепарации флюида нефтегазоконденсатной скважины (сепаратор); 5 – цистерна сепарированного топлива (нефтехранилище); 6 – газоаккумулирующее устройство (газгольдер); 7 – газовая горелка; 8 – дизель-генератор для выработки тока; 9 – теплообменник для нагрева холодной воды из артезианской скважины 2 и одновременного охлаждения раствора флюида после сепаратора 4; 10 – циркуляционный насос для закачки артезианской питьевой воды в цистерны (11 и 12); 11 – цистерны для нужд холодостойкой платформы; 12 – цистерны для нужд жилого модуля; 13 – тепловой насос для получения нагретой артезианской воды; 14 – цистерны нагретой артезианской воды; 15 – установка (ХВО) умягчения воды; 16 – атмосферный деаэратор; 17 – питательный насос; 18 – паровая теплогенерирующая установка (ТГУ 1); 19 – паровой коллектор первого контура циркуляции; 20 – паровые подогреватели (теплообменники); 21 – буровое технологическое оборудование холодостойкой свайной платформы (ХСП); 22 – тепловая установка подготовки топливного газа; 23 – система подачи пара для удаления льда и снега; 24 – паровая дистилляционная опреснительная установка; 25 – цистерны холодостойкой платформы; 26 – цистерны платформы жилого модуля; 27 – цистерны пресной технической воды для паровых теплогенерирующих установок; 28 – питательный насос для паровой теплогенерирующей установки (ТГУ 2); 29 – паровая теплогенерирующая установка (ТГУ 2); 30 – паровой коллектор второго контура циркуляции; 31 и 32 – паровые подогреватели (теплообменники) третьего контура циркуляции; 33 и 34 – паровые подогреватели (теплообменники) второго контура циркуляции; 35 – циркуляционный насос третьего контура циркуляции сетевой воды; 36 – потребители теплоты на отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха; 37 – теплообменник для нагрева холодной воды на горячее водоснабжение холодостойкой свайной платформы (ХСП); 38 – подпиточный насос для подпитки теплосети третьего контура циркуляции; 39 – циркуляционный насос четвертого контура циркуляции флюидной системы теплоснабжения; 40 и 41 – теплообменники для нагрева флюидом обратной сетевой воды системы теплоснабжения пятого контура; 42 – устройство для подготовки и подпитки флюидной системы теплоснабжения четвертого контура; 43 – циркуляционный насос пятого контура циркуляции; 44 – потребители теплоты платформы жилого модуля (ПЖМ) на нужды отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха; 45 – потребители теплоты на горячее водоснабжение; 46 – подпиточный насос для подпитки теплосети пятого контура циркуляции; 47 – циркуляционный насос для газового котла; 48 – газовый котел, встроенный в систему теплоснабжения пятого контура циркуляции; 49 – перемычка между паровыми теплогенерирующими установками 18 (ТГУ 1) и 29 (ТГУ 2); 50 и 51 – регулирующие вентили

ческой системы действующих добывающих нефтегазоконденсатных и артезианских скважин.

Теплоэнергетическая система теплоснабжения, паро- и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений включает в себя новые возможности (варианты), а именно:

– одновременное использование на нефтегазоконденсатном месторождении (**НГКМ**) действующих добывающих нефтегазоконденсатных скважин (**ДС**) и использование артезианских скважин (**АС**) для работы многофункциональной гибридной теплоэнергетической системы теплоснабжения, включая паровые устройства, а также технологического оборудования и систем водоснабжения;

– одновременное использование на НГКМ холодостойких свайных платформ (**ХСП**) и платформ жилого модуля (**ПЖМ**), теплоэнергетических систем с паровыми теплогенерирующими установками (**ТГУ**), обеспечивающими круглогодичный надежный и безопасный режим работы систем паро- и теплоснабжения;

– одновременное использование на НГКМ опреснительной установки для систем пресной питьевой, бытовой и технической воды для парогенераторов и бурового модуля;

– одновременное использование на НГКМ установки сепарации флюида нефтегазоконденсатной действующей скважины и установки подготовки нефтяного газа;

– одновременное использование на НГКМ артезианской скважины для систем пресной питьевой, бытовой и технической холодной воды для парогенераторов, бурового модуля и ПЖМ;

– использование на НГКМ холодостойких свайных платформ и платформ жилого модуля гибридной, энергоэффективной, многофункциональной теплоэнергетической системы теплоснабжения, которая включает в себя пять контуров циркуляции.

На рис.1 приведена принципиальная схема теплоэнергетической системы теплоснабжения, паро- и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений. Многофункциональная теплоэнергетическая система теплоснабжения, паро- и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений включает в себя пять контуров циркуляции.

1. Первый контур циркуляции – трубопроводы и теплообменники, расположенные на холодостойкой свайной платформе (ХСП) с паровой теплогенерирующей установкой 18 (ТГУ 1) для получения и подачи пара с парового коллектора 19:

– в колонку и бак атмосферного деаэратора 16 для деаэрации воды;

– в паровые подогреватели (теплообменник) 20 на нагрев пресной технической воды для тепловых завес и обслуживания рабочих зон на открытых и полуоткрытых пространствах бурового модуля, верхнего строения платформы, газлифтного манифольда, емкости и цистерны различного назначения; конденсат от теплообменников возвращается в бак деаэратор;

– к буровому технологическому оборудованию 21 холодостойкой свайной платформы (ХСП), цистернам, емкостям, участкам трубопроводов различного назначения с целью очистки паром;

– в тепловую установку подготовки топливного газа 22, а полученный газ используется в теплогенерирующих паровых установках 18 и 29;

– в систему эпизодической подачи пара 23 для удаления льда и снега с настила путей перемещения или эвакуации персонала на открытых пространствах и переходной галерее;

– в паровую дистилляционную опреснительную установку 24 для получения пресной бытовой воды питьевого качества для последующей закачки в цистерны холодостойкой платформы 25, платформы жилого модуля 26 и цистерны пресной технической воды 27, используемой в системе умягчения воды 15;

– существенно отметить, что все системы пароснабжения первого контура циркуляции работают по однотрубной разветвленной схеме без возврата конденсата.

2. Второй контур циркуляции – трубопроводы и теплообменники, расположенные на холодостойкой свайной платформе (ХСП) с паровой теплогенерирующей установкой 29 (ТГУ 2) для получения и подачи пара с парового коллектора 30:

– в паровые подогреватели (теплообменники) 31 и 32 для нагрева паром сетевой воды третьего контура циркуляции с последующим возвратом конденсата от теплообменников 31 и 32 в паровую теплогенерирующую установку 29 (ТГУ 2);

– в паровые подогреватели (теплообменники) 33 и 34 для нагрева незамерзающего теплоносителя флюидной системы тепло-

снабжения четвертого контура циркуляции и последующим возвратом конденсата от теплообменников 33 и 34 в паровую теплогенерирующую установку 29 (ТГУ 2).

3. Третий контур циркуляции – трубопроводы и теплообменники, расположенные на холодостойкой свайной платформе (ХСП), работающей по замкнутой системе теплоснабжения, в которой вода циркуляционным насосом 35 нагнетается:

– в паровые теплообменники 32 и 31, где нагревается паром второго контура циркуляции, а нагретая сетевая вода подается к потребителям теплоты холодостойкой свайной платформы (ХСП) для отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха 36;

– в теплообменник 37 для нагрева холодной воды на горячее водоснабжение холодостойкой свайной платформы (ХСП);

– после теплообменников 36 и 37 охлажденная сетевая вода возвращается по обратной магистрали в теплообменники 32 и 31 для последующего нагрева.

4. Четвертый контур циркуляции – трубопроводы флюидной системы теплоснабжения, заполненные незамерзающим флюидом, который нагнетательным насосом 39 подается:

– в пароводяные теплообменники второго контура циркуляции 34 и 33, откуда нагретый флюид поступает в теплообменники жилого модуля 40 и 41, а охлажденный флюид возвращается по обратной магистрали переходной галереи в теплообменники 34 и 33 для последующего нагрева флюида и подачи его в систему флюидного теплоснабжения;

– трубопроводы флюидной системы теплоснабжения с незамерзающим теплоносителем проложены по переходной галерее (ПГ) – металлической конструкции соединяющей холодостойкую свайную платформу (ХСП) и платформу жилого модуля (ПЖМ).

5. Пятый контур циркуляции – трубопроводы и теплообменники, расположенные на ПЖМ, представляющие замкнутую систему централизованного теплоснабжения, в которой пресная техническая вода циркуляционным насосом 43 нагнетается:

– в теплообменники 41 и 40 системы теплоснабжения, где нагревается от горячего флюида системы теплоснабжения четвертого контура и нагретая вода централизованно подается к потребителям теплоты жилого модуля на нужды отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха 44 и горячего водоснабжения 45;

– охлажденная сетевая вода от теплообменников 44 и 45 возвращается по обратной магистрали в теплообменники 41 и 40 для последующего нагрева.

В работе теплоэнергетической системы теплоснабжения, паро- и водоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений необходимо отметить следующие важные аспекты, используемые впервые в практике нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ):

– использование в четвертом контуре теплоэнергетической системы теплоснабжения водного раствора незамерзающего теплоносителя – флюида, получаемого из нефтегазоконденсатной скважины 1, который не подвержен замерзанию во флюидной системе теплоснабжения при низких отрицательных температурах, на дальних расстояниях, на открытой местности и наружном воздухе, является важным мероприятием по защите от замораживания оборудования, арматуры и трубопроводов;

– использование водного раствора флюида после теплообменника 9 для работы теплового насоса 13 в качестве источника низкого потенциала для повышения эффективности работы теплового насоса и увеличения его коэффициента преобразования энергии; высокий потенциал теплоносителя теплового насоса 13 используется для получения горячей воды и накопления ее в цистерне 14 для бытовых нужд и горячего водоснабжения для ХСП в летнем режиме эксплуатации;

– использование топливного нефтяного газа, полученного после сепарации флюида 4 (сепаратора) и газоаккумулирующего устройства 6 (газгольдера), в газовой горелке 7 газового водогрейного котла 48 для возможности нагрева воды системы горячего водоснабжения 45 для ПЖМ в летнем режиме эксплуатации (с использованием регулятора расхода газа и датчика температуры);

– использование топливного нефтяного газа из газоаккумулирующего устройства 6 (газгольдера), полученного после сепарации флюида нефтегазоконденсатной действующей скважины (ДС), в дизельном или газовом генераторе 8 для выработки переменного или постоянного тока;

– на объектах ХСП нефтегазоконденсатного месторождения паровая теплогенерирующая установка 18 (ТГУ 1) первого контура циркуляции работает круглогодично;

– потребление теплоты для систем теплоснабжения на нужды отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха на ХСП и ПЖМ имеют сезонный зимний режим эксплуатации, поэтому паровая теплогенерирующая установка 29 (ТГУ 2) второго контура циркуляции и соответственно система теплоснабжения третьего контура, система флюидного теплоснабжения четвертого контура циркуляции, а также система теплоснабжения пятого контура циркуляции в летнем режиме не эксплуатируются; в летнем режиме нагрев воды на горячее водоснабжение ПЖМ проводится газовым котлом 48 с использованием циркуляционного насоса 47, встроенным в пятый контур циркуляции системы теплоснабжения; система горячего водоснабжения на ХСП в летний период обеспечивается из цистерн горячей воды 14, полученной тепловым насосом 13.

Разработанная авторами схема позволяет повысить энергетическую эффективность и расширить технологические возможности теплоэнергетической системы теплоснабжения, паро- и водоснабжения на НГКМ. Это достигается за счет использования одновременно действующих добывающих нефтегазоконденсатных скважин и артезианской скважины для работы многофункциональной гибридной теплоэнергетической системы теплоснабжения и технологического оборудования. Кроме того, в теплоэнергетической системе теплоснабжения, паро- и водоснабжения разработаны новые, перспективные и энергоэффективные схемы и решения, включающие в себя две паровые теплогенерирующие установки, пять контуров циркуляции, незамерзающий флюид в системе теплоснабжения (четвертого контура циркуляции), тепловой насос, использующий флюид как энергию низкого потенциала для нагрева артезианской воды.

Литература

1. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / [сост. : П.П. Безруких и др.] ; под ред. П.П. Безруких. – М. : Энергия, 2007. – 272 с.

2. Безруких, П.П. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии / П.П. Безруких, Д.С. Стребков ; под ред. Д.С. Стребкова ; Рос. акад. с.-х. наук, Гос. науч. учреждение Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва (ГНУ ВИЭСХ). – М. : ГНУ ВИЭСХ (Тип. Россельхозакадемии), 2005. – 263 с.

3. Лобков, А.М. Сбор и обработка нефти и газа на промысле / А.М. Лобков. – М. : Недра, 1968. – 284 с.

4. Фокин, В.М. Геотермальные устройства в системах теплоснабжения : монография / В.М. Фокин, Е.В. Бодрова. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. – 100 с.

5. Будикин, А.Е. Технические решения по устройству систем отопления и основные эксплуатационные проблемы в малоэтажных жилых зданиях в Арктической полосе Республики Саха (Якутия) / А.Е. Будикин, Е.Г. Слободчиков // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 12(90). – С. 14–18.

6. Иванов, В.Н. Влияние параметров климата на эксплуатацию систем теплообеспечения зданий / В.Н. Иванов, А.Н. Колодезникова // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2021. – № 11(146). – С. 90–93.

7. Шпильрайн, Э.Э. Экологические аспекты применения возобновляемых источников энергии для децентрализованного энергоснабжения / Э.Э. Шпильрайн // Перспективы энергетики. – 2002. – Т. 5. – С. 299–306.

References

1. Spravochnik po resursam vozobnovlyaemykh istochnikov energii Rossii i mestnym vidam topliva (pokazateli po territoriyam) / [sost. : P.P. Bezrukikh i dr.] ; pod red. P.P. Bezrukikh. – M. : Energiya, 2007. – 272 s.

2. Bezrukikh, P.P. Vozobnovlyaemaya energetika: strategiya, resursy, tekhnologii / P.P. Bezrukikh, D.S. Strebkov ; pod red. D.S. Strebkova ; Ros. akad. s.-kh. nauk, Gos. nauch. uchrezhdenie Vseros. nauch.-issled. in-t elektrifikatsii sel. khoz-va (GNU VIESKH). – M. : GNU VIESKH (Tip.

Rosselkhozakademii), 2005. – 263 s.

3. Lobkov, A.M. Sbor i obrabotka nefti i gaza na promysle / A.M. Lobkov. – M. : Nedra, 1968. – 284 s.

4. Fokin, V.M. Geotermalnye ustrojstva v sistemakh teplosnabzheniya : monografiya / V.M. Fokin, E.V. Bodrova. – Volgograd : VolgGASU, 2011. – 100 s.

5. Budikin, A.E. Tekhnicheskie resheniya po ustrojstvu sistem otopleniya i osnovnye ekspluatatsionnye problemy v maloetazhnykh zhilykh zdaniyakh v Arkticheskoj polose Respubliki Sakha (YAkutiya) / A.E. Budikin, E.G. Slobodchikov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 12(90). – S. 14–18.

6. Ivanov, V.N. Vliyanie parametrov klimata na ekspluatatsiyu sistem teploobespecheniya zdanij / V.N. Ivanov, A.N. Kolodeznikova // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2021. – № 11(146). – S. 90–93.

7. SHpilrajn, E.E. Ekologicheskie aspekty primeneniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii dlya detsentralizovannogo energosnabzheniya / E.E. SHpilrajn // Perspektivy energetiki. – 2002. – T. 5. – S. 299–306.

© В.М. Фокин, С.В. Нестеренко, И.В. Стефаненко, В.В. Федоров, 2026

УДК 624.154.9:624.137.6

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАСС ВОДНОТРАНСПОРТНОГО СОЕДИНЕНИЯ С ТОННЕЛЕМ МЕЖДУ КАСПИЙСКИМ МОРЕМ И ПЕРСИДСКИМ ЗАЛИВОМ

И.М. ГАЛИМОВ, В.А. КОНЬКОВ, С.Д. ГРИНАКОВСКИЙ, У.О. МОСКОВКИНА

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

Ключевые слова и фразы: тоннель; гидротехническое строительство; транспортный тоннель; Каспийское море; Персидский залив; проект судоходного канала; беспилотные суда.

Аннотация: На протяжении нескольких столетий планы о строительстве водного пути между Каспийским морем и Персидским заливом (Трансираński канал) обсуждались Россией и Ираном. В результате многолетнего межгосударственного взаимодействия по данному вопросу канал так и не был построен в связи с рядом причин: значительная протяженность, большой перепад высот, из которого требуется строительство большого количества шлюзов, насосных станций и т.д. В текущей геополитической напряженности вопрос о строительстве данного грандиозного сооружения является актуальным. В настоящей статье рассмотрена возможность строительства Трансиранской водной магистрали путем устройства тоннеля: трассировка тоннеля, способы его возведения, сравнение с объектами-аналогами и т.д.

Целью исследования являлась оценка технических возможностей строительства гидротехнического тоннеля между Каспийским морем и Персидским заливом.

Задачи исследования: оценка и описание методов устройства тоннеля, расчет сроков перевозки грузов, достоинства и недостатки такого сооружения по сравнению с открытыми транспортными каналами.

В статье использованы теоретические методы, связанные с анализом и обобщением информации о проектах Трансиранского водного пути.

Результаты исследования по сопоставлению воднотранспортных соединений свидетельствуют, что прокладка тоннеля вместо канала является предпочтительным вариантом.

Кратчайшее расстояние между Персидским заливом и Каспийскими морем составляет порядка 700 км (рис. 1), но при этом данный путь пролегает по горной местности со значительным перепадом высот – более 3,5 км, по этой причине ранее были разработаны два варианта устройства водного пути: западный и восточный.

Западный длиной около 1000 км, проходящий по рекам на северо-западе (по реке Кызылузен, далее к югу по частично судоходному устью Керхе) и на юго-западе Ирана (река Карун, пограничная с Ираком река Шатт-эль-Араб). Перепад высот на данном маршруте весьма значителен: примерно от 900 м на Центральном плато между горными системами Заргос и Эльбурс и минус 28 м над уровнем океана на Каспии.

Восточный путь – от юго-восточного побережья Каспия к Оманскому заливу. Протяженность данной трассы составляет порядка 1500 км, что является весьма значительным расстоянием.

Учитывая недостатки двух вариантов, авторами статьи предлагается рассмотреть целесообразность возведения гидротехнического тоннеля по кратчайшему расстоянию между Персидским заливом и Каспийским морем.



Рис. 1. Западный, восточный и прямой варианты проложения тоннеля

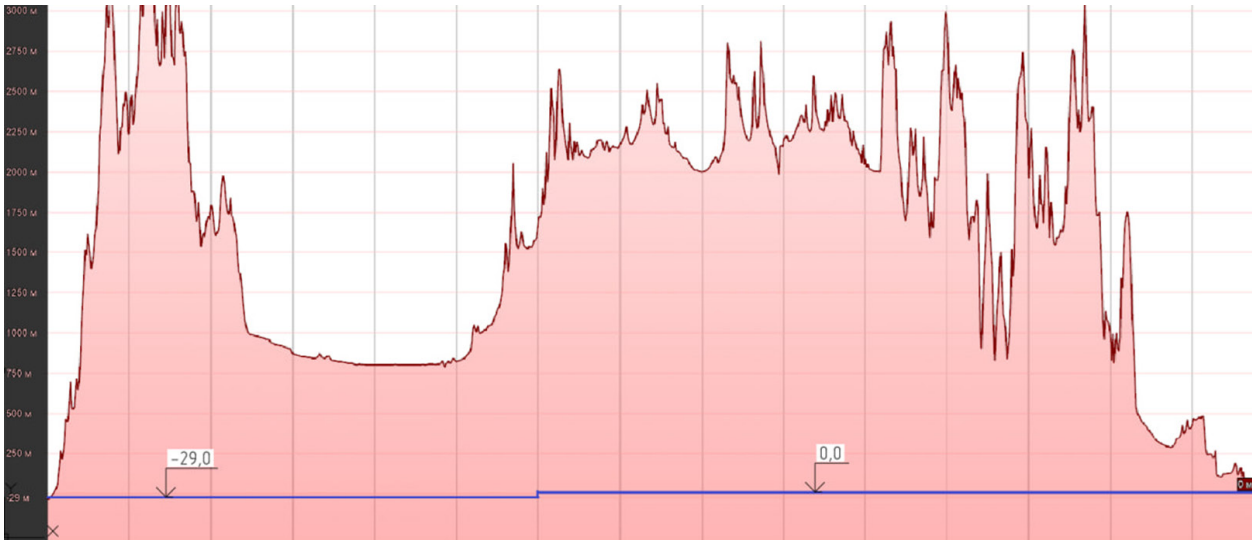


Рис. 2. Разрез местности

На рис. 1 представлен рассматриваемый путь прокладки тоннеля, разрез местности – на рис. 2.

Габариты тоннеля

По данному пути длина тоннеля составит ≈736 км, разница отметок Каспийского моря и Персидского залива составляет 29 метров, что потребует возведения судоходного шлюза. Перевозку грузов целесообразно осуществлять беспилотными судами, исключая возможные риски жизни и здоровью членам экипажей в случае аварийной ситуации внутри тоннеля.

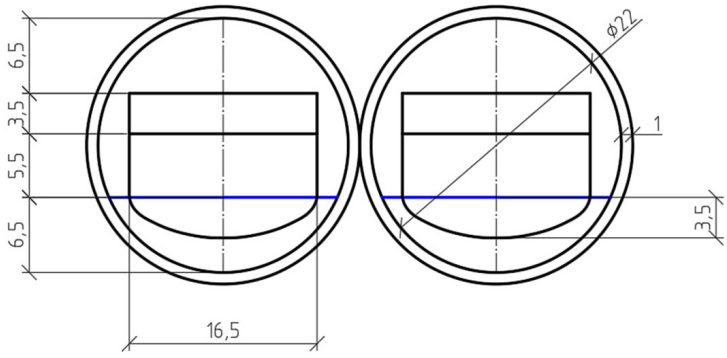


Рис. 3. Возможный вариант сечения тоннеля

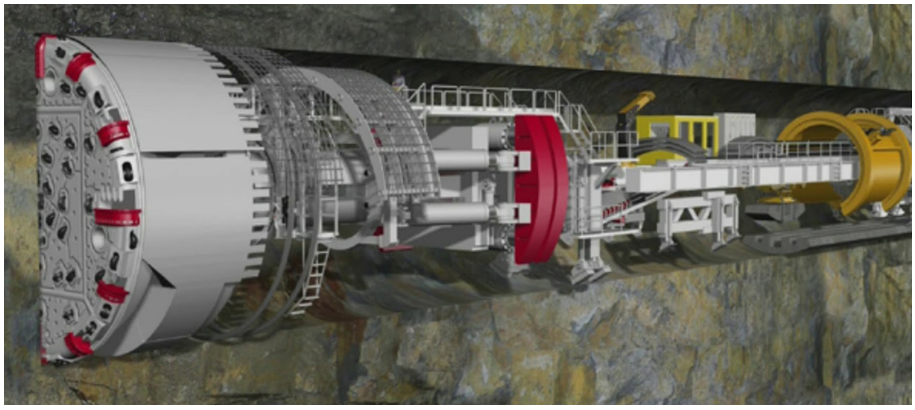


Рис. 4. Общий вид ТПМК

Кроме того, автономное судовождение имеет множество преимуществ: существенная экономия, так как контроль за движением нескольких автономных судов одновременно может осуществляться малочисленной группой специалистов из наземного центра управления.

Сечение тоннеля принимается исходя из габаритов беспилотных судов, способа прокладки тоннеля и геологического строения территории строительства. В качестве примера целесообразно рассмотреть судно проекта «Волго-Дон», которое в будущем можем стать автономным.

Для прохождения судов по двусторонней схеме движения габариты тоннеля должны составлять: диаметр 22 м, судоходные глубины 6,5 м. Предварительная форма сечения представлена на рис. 3.

Оценка сроков строительства

Учитывая залегание скальной горной породы, при строительстве тоннеля длиной более 700 км необходимо использовать тоннелепроходческие механизированные комплексы (**ТПМК**), которые осуществляют все этапы строительных работ: разработку грунта, крепление забоя, вывоз грунта, возведение обделки и нагнетание тампонажного раствора за обделку. Общий вид ТПМК представлен на рис. 4. В данной местности следует использовать шарошечный породоразрушающий инструмент тоннелепроходческих щитов, то есть для крепких пород с крепостью по шкале проф. М.М. Протодьяконова $f > 6$.

Для достижения высоких темпов строительство целесообразно осуществлять не только с обеих сторон тоннеля, но и на удалении от входных участков (при наличии таких условий) на среднем удалении друг от друга порядка 70 км. Для данного объекта следует рассмотреть ТПМК с диаметром щита 22 м.

По данным [17], производительность (скорость проходки) в скальных грунтах составит

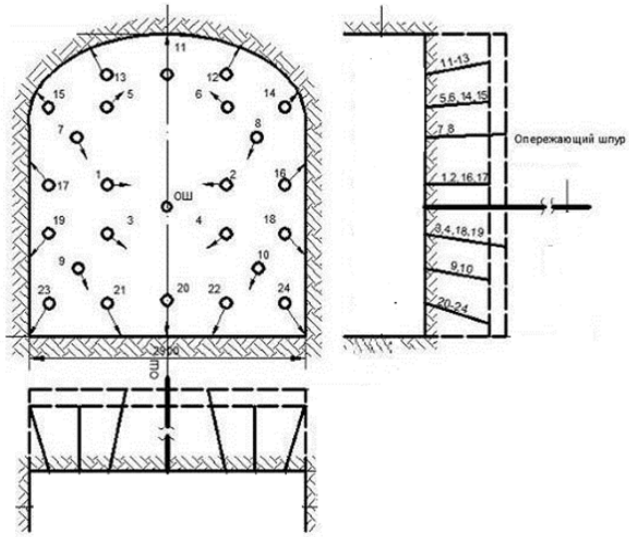


Рис. 5. Расположение шпуров при буровзрывных работах

150–240 м/мес, то есть, если взять среднее значение 200 м/мес, то за год получится пройти 2,4 км. Таким образом, для прохода одного тоннеля (одного пути), используя 10 ТПМК, на строительство потребуется порядка 30–35 лет.

Также потребуется дополнительная разработка скального массива для устройства технических помещений, для чего целесообразно применять буровзрывной метод производства работ: в горном массиве пробуриваются шпуры или скважины, в которые помещается взрывчатое вещество и в определенной последовательности выполняют взрывание и проветривание, после производится транспортировка разрушенной горной породы. При взрывах остается ослабленный слой грунта на сводах и стенах тоннеля, который также удаляют и монтируют обделку при водопроницаемости грунтов, чаще всего используется набрызг-бетон.

На рис. 5 представлено расположение шпуров при производстве буровзрывных работ.

Анализ технических аспектов строительства тоннеля

К достоинствам можно отнести:

– устройство нового кратчайшего прямого пути между двумя водными объектами;

– использование беспилотных судов, что сокращает расходы на обслуживающий персонал;

– высокая степень защищенности объекта, учитывая нестабильную ситуацию в данном регионе.

К ключевым недостаткам следует отнести: высокие трудозатраты на работы по проходке скальных пород, продолжительность строительства, что в конечном итоге отразится на колоссальных экономических затратах. Но в рамках межгосударственного взаимодействия заинтересованных стран побережья Каспийского моря, а также Китая, Индии и др., используя технический и экономический потенциал, возможно решить данную проблему.

В качестве анализируемых показателей для сравнения Трансиранского канала и тоннеля в данной статье рассматривались следующие.

Экономическая целесообразность устройства тоннеля или канала, которая зависит от:

– затрат времени на перевозку грузов при эксплуатации и строительстве тоннеля;

– количества перевозимых грузов при эксплуатации и строительстве тоннеля;

– затраты на прохождение судов в тоннеле или канале;

– вид судов, проходящих в канале или тоннеле.

Затраты времени на перевозку грузов в связи с появлением прямого пути между Персидским заливом и Каспийским морем сравнивались с проектом Трансиранского канала. При анализе расхода времени на транспортировку не учитывались временные затраты на перегрузку судов.

Результаты анализа представлены в табл. 1.

Затраты времени на перевозку грузов при

Таблица 1. Затраты времени на перевозку грузов при реализации тоннеля

Сравниваемый параметр	Транспортировка грузов через Трансиранский канал	Транспортировка грузов через тоннель
Протяженность	≈ 1000 километров	≈ 736 километров
Время транспортировки грузов	≈ 2 суток*	≈ 1,2 дня**
Стоимость прохода одного грузового судна	≈ 4,5–8 млн рублей***	≈ 3–6 млн рублей****

* – время транспортировки грузов рассчитано исходя из средней скорости 10,5 узлов судна класса «река – море» при полной загрузке;
** – время транспортировки грузов рассчитано исходя из средней скорости беспилотного судна 16 узлов при полной загрузке;
*** – расчет велся с помощью анализа предполагаемой стоимости строительства и времени окупаемости [6];
**** – расчет велся с помощью анализа предполагаемой стоимости щитовой проходки и времени окупаемости, принятым по времени проходки

Таблица 2. Сравнение количества перевозимых грузов

Сравниваемый параметр	Транспортировка грузов через Трансиранский канал	Транспортировка грузов через тоннель
Объем грузов в год	≈ 20–28 млн тонн*	≈ 28,5 млн тонн
Количество судов в год	≈ 5000–7000	≈ 8900
Основные типы судов	Суда класса «река – море», сухогрузы средней грузоподъемностью 4000 тонн	Беспилотные суда грузоподъемностью 3200 тонн**

* – рассчитана для средней грузоподъемности судов класса «река – море»;
** – принята средняя грузоподъемность

строительстве тоннеля определяются совокупностью технических, геологических и логистических факторов.

Факторы, увеличивающие время перевозки:

1) длина и профиль: при длине свыше 300–500 м значительно возрастает время цикла из-за необходимости соблюдения дистанции между машинами (она должна быть в 2 раза больше стандартной для грузовиков);

2) регулярное обслуживание и обновление изношенных механизмов техники каждый определенный участок разработанного пути при щитовой проходке;

3) сложность логистики: необходимость организации разъездов в узком сечении тоннеля и согласование движения с графиком буровзрывных или проходческих работ;

4) непредвиденные события: в тоннелестроении только около 5 % проектов укладываются в расчетные сроки, а средние задержки могут составлять до года из-за неучтенных геологических особенностей.

Количество перевозимых грузов через предполагаемый в данной статье тоннель сравнивалось с проектом Трансиранского канала и существующим Беломорско-Балтийским каналом.

Вся сравниваемая информация приведена в табл. 2.

Количество грузов при строительстве тоннеля складывается из двух основных потоков: вывозимого грунта (выработки) и ввозимых стройматериалов (обделки, бетона, оборудования).

Расчет объема вывозимого грунта

Это основной объем перевозок. Он определяется площадью поперечного сечения выработки и длиной тоннеля.

Формула объема в плотном теле:

Таблица 3. Сводная таблица результатов анализа

Сравниваемый параметр	Транспортировка грузов через Трансиранский канал	Транспортировка грузов через тоннель	Разница устройства тоннеля от канала в процентах
Объем грузов в год	≈ 20–28 млн тонн*	≈ 28,5 млн тонн	1,8–42,5 %
Количество судов в год	≈ 5000–7000	≈ 8900	27–78 %
Основные типы судов	Суда класса «река – море», сухогрузы средней грузоподъемностью 4000 тонн	Беспилотные суда грузоподъемностью 3200 тонн*	25 %
Протяженность	≈ 1000 километров	≈ 736 километров	73,6 %
Время транспортировки грузов	≈ 2 суток	≈ 1,2 дня	60 %
Стоимость прохода одного грузового судна	≈ 4,5–8 млн рублей	≈ 3–6 млн рублей	67–75 %
Влияние на экологию	Большое	Минимальное	–

*Примечание: * – принята средняя грузоподъемность.*

$$V = SL,$$

где S – площадь сечения выработки (по наружному контуру обделки), L – длина.

Коэффициент разрыхления: при погрузке в транспорт объем грунта увеличивается в 1,2–1,5 раза (в зависимости от типа породы).

Весовой показатель: для сметных расчетов объем часто переводят в тонны на основании плотности породы.

Количество ввозимых грузов (материалы)

Объем материалов зависит от типа конструкции тоннеля:

– тюбинги/сегменты: при щитовой проходке основной груз – железобетонные или чугунные сегменты обделки;

– бетон и раствор: используются для набрызг-бетона (крепь) или заполнения заобделочного пространства;

– инертные материалы: песок и щебень для устройства дорожного полотна внутри тоннеля.

Факторы, влияющие на объем перевозок

Тип проходки: при использовании ТПМК (щита) объем грунта четко соответствует диаметру ротора, но может быть «перебор» грунта (увеличение объема на 1–5 %).

Способ строительства: открытый способ требует перевозки значительно больших объемов грунта из-за необходимости рытья широких котлованов с откосами.

Влажность: количество влажного или водонасыщенного грунта в сметах фиксируется в тоннах, так как вода значительно увеличивает массу перевозимого груза.

Результаты анализа устройства Трансиранского тоннеля

Исходя из рассмотренных аспектов, прокладка тоннеля вместо канала может являться более выигрышным в связи со следующими факторами:

– объем грузов в год через тоннель превышает объем через Трансиранский канал;

– количество судов в год больше в 1,3–1,8 раза;

– протяженность канала больше тоннеля, следовательно, через тоннель прохождение грузов быстрее;

– в связи с отсутствием большого количества шлюзов в тоннеле, скорость его прохождения в 12,5–16,7 раза превышает скорость прохождения канала;

– стоимость прохождения тоннеля меньше стоимости перевозки грузов через канал в 1,3–1,5 раза.

Все анализируемые показатели представлены в сводной табл. 3.

Эксплуатационный анализ грузопотока после постройки:

- цель проекта – обеспечить транзит, ко-



Рис. 6. Тоннель под рекой Хуанхэ

торый на порядки превышает объемы строительства;

• прогнозная мощность: ожидается перевозка от 15 до 30 млн тонн грузов в год к 2030 г. в рамках коридора «Север – Юг»;

• виды грузов: в основном контейнеры, нефть, зерно и металлы из России в Индию и страны залива;

• итог: строительство потребует перемещения десятков миллионов тонн грунта и материалов, а сам проект оценивается в $10–15 млрд.

Примеры строительства тоннелей в мире

Китайские специалисты завершили строительство крупнейшего в мире подводного щитового тоннеля Цзинань-Хуанган. Протяженность возведенного участка тоннеля составляет 3290 м. Он проходит на глубине 30 м под рекой Хуанхэ. Диаметр тоннеля достигает 17 м, что значительно превышает размеры знаменитого Евротоннеля под Ла-Маншем, который связывает Великобританию и Францию и имеет диаметр всего 7,6 м.

Известно, что при строительстве китайского тоннеля использовали самую большую в мире проходческую машину «Шаньхэ» диаметром 17,5 м – можно сравнить по высоте с пятиэтажным домом.

Эта установка обладает мощностью 7510 лошадиных сил (5600 кВт) и крутящим моментом 35017 кНм.

Во время строительства применялась специальная система автоматической воздушной подушки, которая помогала стабилизировать давление, поддерживать устойчивость конструкции и предотвращать возможные обвалы или затопление.

Продолжительность строительства составила 110 дней [16].

На рис. 6 представлен общий вид возведенного тоннеля под рекой Хуанхэ.

Выводы

Представленные в статье рассчитанные параметры основных технических решений тоннеля, его пропускной способности, способах производства работ, а также информация о реализованных объектах-аналогах позволяют сделать вывод о технической возможности и целесообразности строительства данного сооружения, соединяющего напрямую Персидский залив и Каспийское море, которое превосходит Трансиранские проекты каналов по ряду эксплуатационных параметров.

Литература

1. Чаус, А.О. Безопасность мореплавания в эру автономного судовождения: проблемы и перспективы правового регулирования / А.О. Чаус // Приложение к журналу «Вестник юридического института МИИТ». – 2024. – № 3(47). – С. 43.

2. Дубинин, Д.С. Строительство тоннелей горным способом / Д.С. Дубинин, Е.В. Косачева, К.В. Макеев, О.А. Пономарева // Теория и практика современной науки : материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 85-летию Дальневосточного государственного университета путей сообщения. – М., 2022. – С. 25–29.

3. Першин, В.В. Основы горного дела (строительная геотехнология) : учеб. пособие / В.В. Першин, М.Д. Войтов, А.Б. Сабанцев, П.М. Будников. – Кемерово, 2013.

4. Брюховецкий, О.С. Основы горного дела / О.С. Брюховецкий, С.В. Иляхин, А.П. Карпиков, В.П. Яшин. – СПб., 2017.

5. Ривкин, Б.С. Беспилотные суда. Навигация и не только / Б.С. Ривкин // Гироскопия и навигация. – 2021. – № 1(112) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/bespilotnye-suda-navigatsiya-i-ne-tolko.

6. Исмаилов, Ч.Н. Судоходный канал «Каспийское море – Персидский залив»: ирреальность и фантазии / Ч.Н. Исмаилов // Социально-экономические и экологические аспекты развития Прикаспийского региона : материалы Международной научно-практической конференции, 2019. – С. 493–496.

7. Гурлев, И.В. Северный морской транспортный коридор как угроза экологической безопасности Арктики / И.В. Гурлев, А.В. Маслобоев, И.Г. Малыгин // Труды ИСА РАН. – 2022. – Т. 72. – № 4. – С. 82–95.

8. Королева, В.Д. Использование беспилотных морских судов: правовые аспекты и перспективы развития / В.Д. Королева, Д.А. Юрченко // Океанский менеджмент. – 2023. – № 4(22). – С. 25–27.

9. Привалов, А.А. Выбор рациональной формы поперечного сечения безнапорных гидротехнических туннелей с применением численного моделирования / А.А. Привалов // Вестник МГСУ. – 2010. – №. 4-4. – С. 124–130.

10. Зерцалов, М.Г. Фибробетонные обделки безнапорных гидротехнических туннелей в скальных грунтах и расчет их трещиностойкости / М.Г. Зерцалов, Д.Ю. Чунюк, К.Е. Минин, А.И. Полысаева // Гидротехническое строительство. – 2021. – № 10. – С. 46–50.

11. Сафронов, С.А. Современные тенденции развития Персидского коридора / С.А. Сафронов, А.И. Коржев, А.В. Ширяев // Логистика – Евразийский мост : материалы XVIII Международной научно-практической конференции. – Красноярск, 2023. – С. 233–238.

12. Головизнина, О.И. Способы снижения выбросов черного углерода от судов в арктическом регионе / О.И. Головизнина, Д.Р. Дрягина // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – 2023. – Т. 1. – № 1. – С. 226–229.

13. Буцанец, А.А. Исследование проблемы построения автоматизированной системы управления для обеспечения безопасного пропуска безэкипажных судов через судоходные шлюзы / А.А. Буцанец, Н.М. Ксенофонтов, Т.А. Волкова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2023. – № 6.

14. Rivera, C.F. Quantification of NO_2 and SO_2 Emissions from the Houston Ship Channel and Texas City Industrial Areas during the 2006 Texas Air Quality Study / C.F. Rivera, J. Mellqvist, J. Samuelsson, B.L. Lefer, S. Alvarez, M.R. Patel // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2010. – Vol. 115(D8). – DOI: 10.1029/2009JD012675.

15. Zakharov, A. The International North-South Transport Corridor: The Prospects and Challenges for Connectivity between Russia and India / A. Zakharov // MGIMO Review of International Relations. – 2023. – Т. 16. – No. 2. – P. 216–234.

16. Чэнь, Ц. Ключевые технологии повышения устойчивости тоннеля сверхбольшого диаметра, сооружаемого под рекой Хуанхэ щитовым способом и подверженного высоким переменным нагрузкам (пер. с англ.) / Ц. Чэнь // Геоинфо. – 2025. – Т. 7. – № 1. – С. 76–83. – DOI: 10.58339/2949-0677-2025-7-1-76-83.

17. Покоряя глубины: прокладка тоннелей для московского метро [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://prommoscow.info/interesting/moscow-metro-tunnels#:~:text=%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D1%8F%D1%8F%20%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D-1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BE%D0%B2%20%E2%80%93%20250,%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0.

References

1. CHaus, A.O. Bezopasnost moreplavaniya v eru avtonomnogo sudovozhdeniya: problemy i perspektivy pravovogo regulirovaniya / A.O. CHaus // Prilozhenie k zhurnalu «Vestnik yuridicheskogo instituta MIIT». – 2024. – № 3(47). – S. 43.

2. Dubinin, D.S. Stroitelstvo tonnelej gornym sposobom / D.S. Dubinin, E.V. Kosacheva, K.V. Makeev, O.A. Ponomareva // Teoriya i praktika sovremennoj nauki : materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, posvyashchennoj 85-letiyu Dalnevostochnogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – M., 2022. – S. 25–29.

3. Pershin, V.V. Osnovy gornogo dela (stroitelnaya geotekhnologiya) : ucheb. posobie / V.V. Pershin, M.D. Vojtov, A.B. Sabantsev, P.M. Budnikov. – Kemerovo, 2013.

4. Bryukhovetskij, O.S. Osnovy gornogo dela / O.S. Bryukhovetskij, S.V. Ilyakhin, A.P. Karpikov, V.P. YAshin. – SPb., 2017.

5. Rivkin, B.S. Bespilotnye suda. Navigatsiya i ne tolko / B.S. Rivkin // Giroskopiya i navigatsiya. – 2021. – № 1(112) [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/bespilotnye-suda-navigatsiya-i-ne-tolko.

6. Ismailov, CH.N. Sudokhodnij kanal «Kaspijskoe more – Persidskij zaliv»: irrealnost i fantazii / CH.N. Ismailov // Sotsialno-ekonomicheskie i ekologicheskie aspekty razvitiya Prikaspijskogo regiona : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, 2019. – S. 493–496.

7. Gurlev, I.V. Severnij morskoj transportnij koridor kak ugroza ekologicheskoj bezopasnosti Arktiki / I.V. Gurlev, A.V. Masloboev, I.G. Malygin // Trudy ISA RAN. – 2022. – T. 72. – № 4. – S. 82–95.

8. Koroleva, V.D. Ispolzovanie bespilotnykh morskikh sudov: pravovye aspekty i perspektivy razvitiya / V.D. Koroleva, D.A. YUrchenko // Okeanskij menedzhment. – 2023. – № 4(22). – S. 25–27.

9. Privalov, A.A. Vybor ratsionalnoj formy poperechnogo secheniya beznapornykh gidrotekhnicheskikh tunnelej s primeneniem chislennogo modelirovaniya / A.A. Privalov // Vestnik MGSU. – 2010. – №. 4-4. – S. 124–130.

10. Zertsalov, M.G. Fibrobetonnye obdelki beznapornykh gidrotekhnicheskikh tunnelej v skalnykh gruntakh i raschet ikh treshchinostojkosti / M.G. Zertsalov, D.YU. CHunyuk, K.E. Minin, A.I. Polysaeva // Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo. – 2021. – № 10. – S. 46–50.

11. Safronov, S.A. Sovremennye tendentsii razvitiya Persidskogo koridora / S.A. Safronov, A.I. Korzhev, A.V. SHiryaev // Logistika – Evrazijskij most : materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii. – Krasnoyarsk, 2023. – S. 233–238.

12. Goloviznina, O.I. Sposoby snizheniya vybrosov chernogo ugleroda ot sudov v arkticheskom regione / O.I. Goloviznina, D.R. Dryagina // Nedelya nauki Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnicheskogo universiteta. – 2023. – T. 1. – № 1. – S. 226–229.

13. Butsanets, A.A. Issledovanie problemy postroeniya avtomatizirovannoj sistemy upravleniya dlya obespecheniya bezopasnogo propuska bezekipazhnykh sudov cherez sudokhodnye shlyuzy / A.A. Butsanets, N.M. Ksenofontov, T.A. Volkova // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. – 2023. – № 6.

16. CHen, TS. Klyuchevye tekhnologii povysheniya ustojchivosti tonnelya sverkhbolshogo diametra, sooruzhaemogo pod rekoj KHuankhe shchitovym sposobom i podverzhennogo vysokim peremennym nagruzkam (per. s angl.) / TS. CHen // Geoinfo. – 2025. – T. 7. – № 1. – S. 76–83. – DOI: 10.58339/2949-0677-2025-7-1-76-83.

17. Pokoryaya glubiny: prokladka tonnelej dlya moskovskogo metro [Electronic

resource]. – Access mode : https://prommoscow.info/interesting/moscow-metro-tunnels#:~:text=%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D1%8F%D1%8F%20%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D-1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BE%D0%B2%20%E2%80%93%20250,%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0.

© И.М. Галимов, В.А. Коньков, С.Д. Гринаковский, У.О. Московкина, 2026

УДК 556.3

АНАЛИЗ ОДИНОЧНЫХ И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ВОДОЗАБОРОВ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЗАБОРНОГО УЗЛА В С. УСТЬ-СЕРТА)

В.О. ЛЕВИН, О.Л. КОЗЛОВА

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва;
ЧУПО «Краснознаменский городской колледж», г. Краснознаменск

Ключевые слова и фразы: фильтрационные работы; гидродинамические расчеты; интерференция; понижение уровня; нижнемеловой водоносный комплекс; Западно-Сибирский артезианский бассейн.

Аннотация: В данной статье рассматривается проблема обеспечения устойчивой эксплуатации подземных вод в условиях пространственной неоднородности фильтрационных свойств нижнемелового водоносного комплекса. Целью работы является сопоставительная оценка гидродинамического режима и производительности одиночного и взаимодействующих водозаборных скважин, функционирующих в сложных гидрогеологических условиях на примере водозаборного узла в с. Усть-Серта Кемеровской области – Кузбасса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ гидрогеологических условий и конструктивных особенностей водозаборных скважин; определение фильтрационных параметров пласта по данным опытно-фильтрационных работ; выполнение прогнозных гидродинамических расчетов понижения уровня для одиночного и группового режимов работы; оценка степени влияния скважин друг на друга и соответствия прогнозных понижений допустимым значениям.

В ходе исследования применялись методы полевых опытно-фильтрационных работ, а также аналитическое моделирование изменения понижения уровней на 25-летний срок эксплуатации с учетом интерференции скважин (принцип суперпозиции). Основные результаты демонстрируют, что при совместной работе скважин наблюдается дополнительная срезка уровня. Математическая интерпретация полученных данных позволила количественно оценить взаимное влияние скважин и выявить асимметрию эффекта – скважина с большим дебитом оказывает более существенное воздействие на соседнюю. Сделан вывод о необходимости обязательного учета фактора взаимодействия при проектировании систем водоснабжения в регионах со сложной литологией меловых отложений для предотвращения преждевременного истощения эксплуатационных запасов и оптимизации расположения новых точек водоотбора.

Введение

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из приоритетных задач государственной политики в области устойчивого развития сельских территорий. В условиях Кемеровской области – Кузбасса, характеризующейся высокой степенью урбанизации и развитой промышленностью, сельские муниципальные округа, такие как Чебулинский, часто сталкиваются с проблемой дефицита централизованного водоснабжения. Решение



Рис. 1. Обзорная схема водозаборного участка «Чебулинский» с. Усть-Серта

данной проблемы преимущественно достигается за счет эксплуатации подземных вод, приуроченных к сложнопостроенным водоносным комплексам Западно-Сибирского артезианского бассейна [2].

При проектировании и эксплуатации водозаборов в сложных гидрогеологических условиях, к которым относятся: наличие нескольких водоносных горизонтов, неоднородность фильтрационных свойств и значительная удаленность водозаборных скважин друг от друга, ключевым вопросом становится оценка их взаимодействия [1; 3].

Для рассредоточенных систем водоснабжения, характерных для сельской местности, типична ситуация, когда часть скважин работает в автономном режиме, в то время как другие, расположенные на относительно небольшом удалении, образуют единую гидравлическую систему. Прогноз понижения уровня в таких взаимодействующих скважинах является сложной гидродинамической задачей, от корректности решения которой зависит не только производительность водозабора, но и его долгосрочная эксплуатационная надежность, а также воздействие на окружающую среду [4].

Существующие нормативные методики и аналитические зависимости [5] предлагают общие подходы к расчетам как одиночных, так и групповых водозаборов. Однако применение этих методов в конкретных природно-техногенных условиях требует адаптации и верификации на основе натурных данных. Особый научный и практический интерес представляет сравнительный анализ фактических и расчетных параметров для водозаборных узлов, где одновременно реализованы обе схемы эксплуатации. Участок недр «Чебулинский» в с. Усть-Серта является уникальным полигоном для такого исследования, так как включает в себя как одиночную резервную скважину, так и пару постоянно работающих взаимодействующих скважин, оборудованных на один водоносный комплекс.

Объект и методы исследований

Водозаборный узел расположен в восточной части с. Усть-Серта Чебулинского муниципального округа Кемеровской области – Кузбасса и предназначен для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. В геоморфологическом отношении участок приурочен к долине р. Серта (левый приток р. Кия). В геолого-

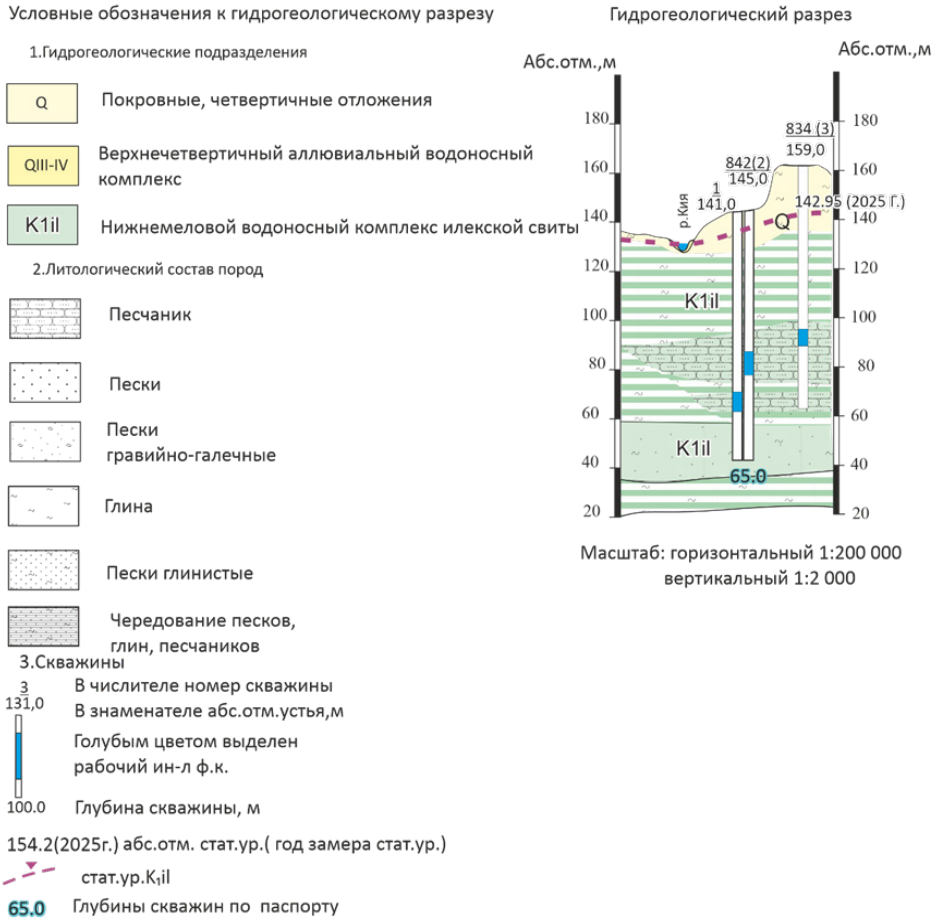


Рис. 2. Обзорная схема водозаборного участка «Чебулинский» с. Усть-Серта

структурном плане территория находится в пределах Чулымо-Енисейской синеклизы Западно-Сибирского артезианского бассейна (рис. 1) [6–8].

В состав водозаборного узла входят три скважины, оборудованные на нижнемеловой водоносный комплекс илекской свиты (*K*₁*il*), который является основным источником централизованного водоснабжения в районе (рис. 2). Водовмещающие породы представлены переслаивающимися песчаниками, песками и алевролитами. Воды комплекса напорные, с глубиной залегания кровли от 70 до 95 м. Питание осуществляется за счет перетекания из вышележащих горизонтов и латерального притока со стороны областей питания, расположенных в зоне выхода пород на поверхность. Основные гидрогеологические характеристики комплекса по данным предшествующих работ обобщены в табл. 1 [1; 3].

Характеристика исследуемых скважин, полученная в ходе паспортизации и геофизических исследований 2025 г., представлена в табл. 2. Скважина № 842(2) и скважина № 834(3) эксплуатируются в постоянном режиме и расположены на расстоянии 750 м друг от друга. Скважина № 1 находится в резерве и удалена от действующих на 1370 м и 750 м соответственно.

Методической основой работы являлось сопоставление результатов натурных опытно-фильтрационных работ (**ОФР**) с прогнозными гидродинамическими расчетами.

Полевые методы. Опытно-фильтрационные работы проведены в период с июня по сентябрь 2025 г. Откачки выполнялись из всех трех скважин существующими погружными насосами марок ЭЦВ (табл. 2) продолжительностью от 72 до 96 часов. Замеры уровней производились электроконтактными уровнемерами УСК-ТЭ2-200 и УСК-ТЭ2-100 с точностью ±1 см. Расход воды измерялся стационарными рас-

Таблица 1. Обобщенная гидрогеологическая характеристика нижнемелового водоносного комплекса илекской свиты (K_1il) в районе работ

Параметр	Значение/Характеристика
Литология	Песчаники, пески с прослоями алевролитов и глин
Глубина залегания кровли, м	70–95
Мощность водовмещающей толщи, м	10–38
Водопроводимость (*km*), м²/сут	47–184 (по данным ОФР 2025 г.)
Коэффициент пьезопроводности (*a**), м²/сут	$9{,}0 \cdot 10^5$ (принят по данным [1])
Тип воды по условиям залегания	Напорные (межпластовые)

Таблица 2. Техническая характеристика исследуемых скважин водозаборного узла с. Усть-Серта (по состоянию на 2025 г.)

Параметр	Скв. № 842(2)	Скв. № 834(3)	Скв. № 1
Год бурения	1988	1988	1999
Абсолютная отметка устья, м	145	159	141
Глубина скважины (факт.), м	65	94	88
Интервал установки фильтра, м	58–62	63,5–70,1	71–82
Статический уровень (2025 г.), м от устья	2,05	17,3	0,94
Дебит при ОФР, м³/сут (л/с)	384 (4,44)	240 (2,78)	360 (4,17)
Понижение при ОФР, м	8,0	7,14	7,5
Удельный дебит, л/с/м	0,56	0,39	0,56
Режим эксплуатации	Рабочая (постоянно)	Рабочая (постоянно)	Резервная

ходомерами (СТВХ, ВСКМ), в резервной скважине – объемным методом. В ходе ОФР фиксировались кривые понижения и последующего восстановления уровня. По завершении откачек производился отбор проб для контроля качества воды.

Камеральные и расчетные методы. Обработка результатов ОФР выполнялась графоаналитическим методом с использованием аналитических зависимостей, соответствующих принятой геофильтрационной модели.

Для всех скважин, эксплуатирующих напорный комплекс илекской свиты, применялась расчетная схема неограниченного в плане напорного пласта с перетеканием. Водопроводимость (*km*) определялась по данным стабилизированного режима фильтрации для каждой скважины как одиночной по формуле (1) [9; 10]:

$$km = \frac{Q}{2\pi A} \ln \frac{1{,}12B}{r_w}, \quad (1)$$

где Q – дебит скважины при ОФР, м³/сут; A – понижение уровня в скважине в стационарном режиме, м; B – параметр перетекания, м; r_w – радиус скважины по обсадной колонне, м.

Параметр перетекания B осуществляется по времени начала стационара по формуле:

$$B = \sqrt{0{,}2at_s}, \quad (2)$$

где t_s – время наступления стационара, сут.; a – пьезопроводность, м²/сут.

Оценка прогнозного понижения уровня на расчетный срок эксплуатации (25 лет) выполнялась по методу гидродинамических расчетов [2]. Для скважин расчет проводился по формуле (2):

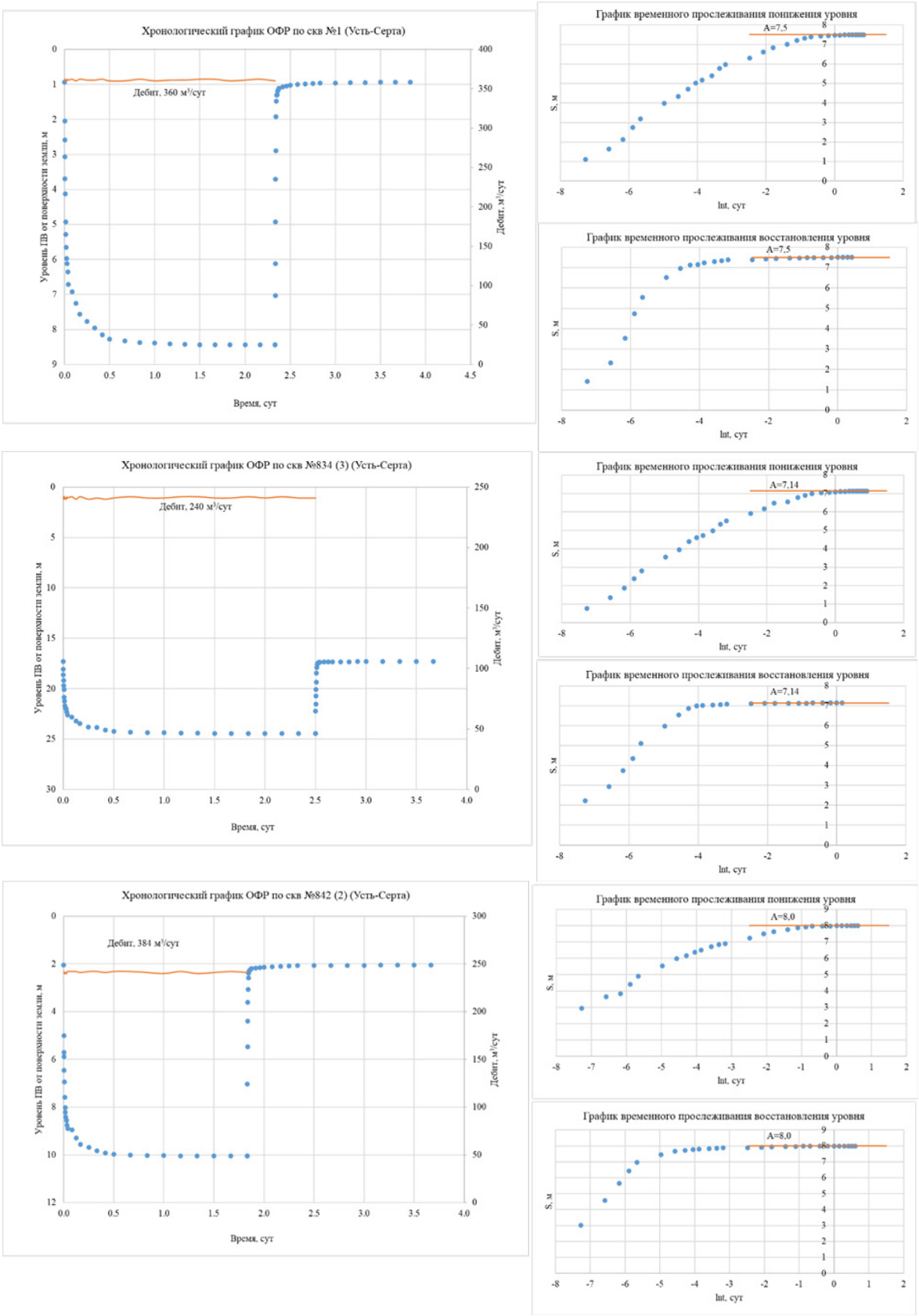


Рис. 3. График временного прослеживания понижения и восстановления уровня в скважинах № 1 (а); № 834(3) (б); № 842(2) (в)

Таблица 3. Расчетные гидрогеологические параметры исследуемых скважин

Параметр	Скв. № 842(2)	Скв. № 834(3)	Скв. № 1
Водопроводимость (*km*), м²/сут	68,0	47,6	67,6
Мощность водоносного горизонта (*m*), м	10,0	12,2	16,5
Коэффициент фильтрации (*k*), м/сут	6,80	3,90	4,10
Удельный дебит (*q*), л/с/м	0,56	0,39	0,56

$$S_0 = \frac{0,366Q}{T}\left(\lg\frac{1,5\sqrt{at}}{r} + 0,434\xi\right), \qquad (3)$$

где t – расчетное время эксплуатации (9125 сут.); ξ – поправка, учитывающая несовершенство скважины по степени вскрытия пласта. Расчет понижения уровня в скважинах выполнен по формуле (3), соответствующей схеме неограниченного в плане изолированного пласта. Применение данной расчетной схемы обусловлено необходимостью моделирования наиболее консервативного сценария, исключающего компенсационное перетекание из смежных водоносных горизонтов и дополнительное питание за счет поверхностных вод.

Для оценки совместной работы взаимодействующих скважин (№ 842(2) и № 834(3)) применялся принцип суперпозиции фильтрационных потоков. Общее прогнозное понижение в каждой из них определялось как сумма собственного понижения при работе в одиночном режиме и дополнительных срезок уровня от работы соседних скважин. Величина срезки (ΔS_i) рассчитывалась по формуле (4):

$$\Delta S_i = \frac{Q_i}{4\pi T}\ln\frac{2,25at}{r_i^2}, \qquad (4)$$

где Q_i – дебит соседней скважины, вызывающей срезку, м^3/сут; r_i – расстояние между рассматриваемой и соседней скважинами, м.

Полученные прогнозные значения понижения сопоставлялись с величиной допустимого понижения ($S_{\text{доп.}}$), рассчитанной по условию недопущения срыва работы насоса и осушения фильтра [2]:

$$S_{\text{доп.}} = 0,5m + H,$$

где m – мощность водоносного горизонта, м; H – напор над кровлей пласта, м.

Результаты

Результаты опытно-фильтрационных работ

В ходе полевых исследований 2025 г. были выполнены одиночные откачки из всех трех скважин водозаборного узла. Продолжительность откачек составила от 72 до 96 часов, что достаточно для достижения квазистационарного режима фильтрации в условиях напорного пласта с перетеканием. Кривые временного прослеживания понижения и последующего восстановления уровня обрабатывались графоаналитическим методом с использованием зависимостей (1). На рис. 3 представлены характерные графики обработки данных по скважинам № 1, № 834(3), № 842(2).

Анализ графиков показал, что стабилизация уровня во всех скважинах наступает через 180–240 минут от начала откачки, что свидетельствует о достаточно высоких фильтрационных свойствах водовмещающих пород и наличии перетекания из смежных слоев. Параметр перетекания (B), рассчитанный по времени наступления стационара, составил для исследуемых скважин 520–548 м, что указывает на относительно слабую связь с вышележащими горизонтами через разделяющие глинистые слои.

Рассчитанные значения водопроводимости (*km*), коэффициента фильтрации (*k*) и удельного дебита (*q*) для каждой скважины представлены в табл. 3. Полученные результаты хорошо согласуются с данными предшествующих исследований по нижнемеловому комплексу илекской свиты в пределах Чулымо-Енисейской впадины [1; 3]. Некоторая вариативность параметров объясняется литологической неоднородностью разреза и различной степенью вскрытия пласта скважинами.

Обращает на себя внимание существен-

Таблица 4. Результаты расчета допустимого понижения

Параметр	Скв. № 842(2)	Скв. № 834(3)	Скв. № 1
Мощность горизонта (m), м	10,0	12,2	16,5
Напор над кровлей (H), м	53,95	42,2	70,56
Допустимое понижение ($S_{доп}$), м	58,95	48,30	78,81

Таблица 5. Сравнение прогнозного и допустимого понижения уровня

Показатель	Скв. № 842(2)	Скв. № 834(3)	Скв. № 1
Проектный дебит (Q), м³/сут	350	100	350
Собственное понижение (S_0), м	18,24	6,68	14,89
Срезка от соседней скважины (ΔS), м	1,40	5,99	–
Общее прогнозное понижение (S), м	19,64	12,67	14,89
Допустимое понижение ($S_{доп}$), м	58,95	48,30	78,81
Доля от допустимого, %	33,3	26,2	18,9

но более низкая водопроводимость в скважине № 834(3) (47,6 м^2/сут) по сравнению с соседними скважинами (68,0 и 67,6 м^2/сут). Это может быть связано с тем, что фильтр данной скважины (63,5–70,1 м) вскрывает менее проницаемую часть разреза, либо с большей степенью кольматации прифильтровой зоны за длительный период эксплуатации (с 1988 г.). Тем не менее даже это значение превышает минимально необходимые 20–30 м^2/сут для устойчивой работы водозабора с дебитом 100–150 м^3/сут.

Оценка допустимого понижения

Расчет допустимого понижения уровня выполнялся по условию сохранения напора над кровлей пласта и недопущения осушения фильтра по формуле (4). Результаты расчета представлены в табл. 4. Высокие значения допустимого понижения (от 48,3 до 78,8 м) обусловлены значительной мощностью водоносного горизонта и избыточным напором, который в скважинах № 842(2) и № 1 достигает положительных значений (излив).

Сравнение с данными по соседним разведанным участкам (например, Верх-Чебулинский, где $S_{доп.}$ для скважин илекской свиты составляет 42–106 м [1]) подтверждает достоверность полученных оценок. Столь значительный запас («запас прочности») характерен для напорных комплексов Западно-Сибирского бассейна и является благоприятным фактором для долгосрочной эксплуатации.

Прогноз понижения уровня для одиночной скважины (№ 1)

Скважина № 1, находящаяся в резерве и удаленная от действующих на 750–1370 м, может рассматриваться как условно одиночный водозабор. Расчет прогнозного понижения на 25 лет эксплуатации с дебитом 350 м^3/сут (проектная потребность) по формуле (2) с учетом несовершенства скважины (ξ = 3,8) дал значение S_0 = 14,89 м (табл. 5). Это составляет всего 19 % от допустимого понижения (78,8 м), что свидетельствует о высокой потенциальной производительности скважины и возможности значительного увеличения водоотбора в случае необходимости.

Прогноз понижения уровня для взаимодействующих скважин (№ 842(2) и № 834(3))

Для данной пары скважин, работающих в постоянном режиме, был выполнен расчет с учетом их взаимного влияния. Расстояние между скважинами составляет 750 м. Расчет срезок по формуле (3) показал, что влияние скважины № 842(2) (Q = 350 м^3/сут) на скважину № 834(3) составляет 5,99 м, а обратное влияние (Q = 100 м^3/сут) на скважину № 842(2) – 1,40 м.

Результаты прогноза представлены в табл. 5. Общее прогнозное понижение в скважине № 842(2) составляет 19,64 м, что зна-

чительно выше, чем при ее гипотетической одиночной работе (18,24 м). Для скважины № 834(3) этот эффект выражен еще сильнее: прогнозное понижение (12,67 м) почти вдвое превышает собственное понижение от ее работы (6,68 м).

Проведенные исследования позволяют сделать несколько важных наблюдений.

Во-первых, полученные данные подтверждают высокую степень изученности гидрогеологических условий района и применимость классических аналитических методов (Тейса, Джейкоба, Де Гли) для прогнозных расчетов в условиях меловых отложений Западной Сибири. Сходимость результатов ОФР с данными предыдущих работ указывает на стабильность фильтрационных свойств водоносного комплекса во времени.

Во-вторых, эффект взаимодействия скважин, хотя и является значимым (особенно для скважины № 834(3), где срезка составляет 47 % от общего понижения), не приводит к критическому истощению напоров. Это объясняется относительно большим расстоянием между скважинами (750 м) и высокими фильтрационными свойствами пласта. Для сравнения, на других участках илекской свиты с меньшей водопроводимостью такое же расстояние могло бы привести к более существенному взаимовлиянию [2].

В-третьих, выявленная асимметрия взаимовлияния (скважина с большим дебитом сильнее влияет на менее нагруженную соседку) имеет важное практическое значение. При планировании режима эксплуатации следует учитывать, что увеличение водоотбора на скважине № 842(2) в первую очередь скажется на динамическом уровне скважины № 834(3).

В целом, полученные результаты свидетельствуют о высокой надежности исследуемого водозаборного узла. Прогнозные понижения составляют не более трети от допустимых, что создает значительный резерв для возможного увеличения водопотребления в будущем и гарантирует устойчивую работу системы водоснабжения с. Усть-Серта на весь расчетный период.

Выводы

В результате анализа гидрогеологических условий участка недр «Чебулинский» установлено, что водозаборные скважины в с. Усть-Серта эксплуатируют нижнемеловой водоносный комплекс илекской свиты (K_1il), характеризующийся напорным режимом, высокой степенью защищенности от поверхностного загрязнения и значительной мощностью водовмещающей толщи (от 10 до 38 м).

Глубина залегания статических уровней варьирует от 0,94 до 17,3 м от поверхности, при этом в скважинах № 842(2) и № 1 наблюдается самоизлив, что подтверждает наличие избыточного напора.

По данным опытно-фильтрационных работ 2025 г. определены фильтрационные параметры пласта. Водопроводимость (km) изменяется от 47,6 до 68,0 м^2/сут, коэффициент фильтрации (k) – от 3,9 до 6,8 м/сут, удельный дебит (q) – от 0,39 до 0,56 л/с/м. Различие параметров km и q указывает на пространственную фильтрационную неоднородность. Данная неоднородность предположительно связана с различным литологическим составом пород в районе фильтровых интервалов.

По результатам расчетов прогнозного понижения уровня в скважине № 1 получено, что расчетное понижение на 25-летний срок составит 14,89 м, в то время как допустимое понижение составляет 78,8 м. Исходя из этого, можно сделать вывод, что при необходимости в увеличении объема добычи данная скважина может быть включена в рабочую сеть водоотбора.

При взаимовлиянии эксплуатируемых скважин № 842(2) и № 834(3) с объемом добычи 350 и 100 м^3/сут соответственно, прогнозные понижения на 25-летний срок с учетом срезок составляют 19,64 и 12,67 м соответственно. Полученные результаты не превышают значения допустимого понижения уровня в данных скважинах, что говорит о стабильной работе водозаборного участка в течение расчетного периода.

В ходе данного исследования были рассмотрены сложные гидрогеологические условия нижнемеловых отложений Западно-Сибирского артезианского бассейна на примере «Чебулинского» водозаборного участка в с. Усть-Серта.

По результатам расчетов были сделаны выводы о взаимовлиянии скважин, расположенных на расстоянии 750 м.

Данный фактор значительно влияет на понижение уровня в скважинах, что говорит о необходимости его учета при прогнозировании эффективности работы водозаборного участка на долгосрочный период.

Данные результаты могут быть актуальны при принятии проектных решений и проведении опытно-фильтрационных работ на водозаборных участках, расположенных на территориях с похожими гидрогеологическими условиями.

Литература

1. Баранов, В.Ю. Отчет «Разведка запасов подземных вод на участке недр «Верх-Чебулинский» для питьевого водоснабжения населения пгт. Верх-Чебула Чебулинского муниципального округа Кемеровской области – Кузбасса» (по состоянию изученности на 01.09.2023 г.). Лицензия КЕМ 02250 ВЭ от 30.12.2021 г. ТКЗ № 1657. – 2023.

2. Боревский, Л.В. Оценка эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемым одиночными водозаборами : метод. рекомендации / Л.В. Боревский, Л.С. Язвин, В.П. Закутин. – М. : ГИДЭК, 2002. – 61 с.

3. Гусев, И.Е. Отчет по поискам и разведке подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения р.п. В-Чебула / И.Е. Гусев. – Новокузнецк : ПГО «Запсибгеология», 1980. – Кемеровский филиал ФБУ «ТФГИ по СФО», Инв. № 18860.

4. Лапшин, Н.Н. Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ II и III поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения / Н.Н. Лапшин, А.Е. Орадовская. – М. : ВНИИ «ВОДГЕО», 1983.

5. Синдаловский, Л.Н. Гидрогеологические расчеты с использованием программы ANSDIMAT / Л.Н. Синдаловский. – СПб. : Наука, 2021. – 891 с.

6. Уваров, А.Н. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 : изд. 2-е. Серия Кузбасская. Лист N-45-V (Тисуль) / А.Н. Уваров, В.Н. Токарев, В.С. Дубской [и др.]. – М. : ФГУГП «Запсибгеолсъемка», 2019.

7. Файнер, Ю.Б. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Кузбасская. Лист O-45-XXXV / Ю.Б. Файнер, Н.А. Гладких. – М. : Недра, 1963.

8. Файнер, Ю.Б. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Кузбасская. Лист N-45-V / Ю.Б. Файнер, П.А. Пономарев [и др.]. – М. : СНИИГГИМС, 1969.

9. De Glee, G.J. Over grondwaterstroomingen bij wateronttrekking door middel van putten / G.J. De Glee. – Delft, 1930. – 179 p.

10. Jacob, C.E. Radial Flow in a Leaky Artesian Aquifer / C.E. Jacob // Transactions, American Geophysical Union. – 1946. – Vol. 27. – No. 2. – P. 198–205.

References

1. Baranov, V.YU. Otchet «Razvedka zapasov podzemnykh vod na uchastke nedr «Verkh-CHebulinskij» dlya pitevogo vodosnabzheniya naseleniya pgt. Verkh-CHebula CHebulinskogo munitsipalnogo okruga Kemerovskoj oblasti-Kuzbassa» (po sostoyaniyu izuchennosti na 01.09.2023 g.). Litsenziya KEM 02250 VE ot 30.12.2021 g. TKZ № 1657. – 2023.

2. Borevskij, L.V. Otsenka ekspluatatsionnykh zapasov pitevykh i tekhnicheskikh podzemnykh vod po uchastkam nedr, ekspluatiruemym odinochnymi vodozaborami : metod. rekomendatsii / L.V. Borevskij, L.S. YAzvin, V.P. Zakutin. – M. : GIDEK, 2002. – 61 s.

3. Gusev, I.E. Otchet po poiskam i razvedke podzemnykh vod dlya khozyajstvenno-pitevogo vodosnabzheniya r.p. V-CHebula / I.E. Gusev. – Novokuznetsk : PGO «Zapsibgeologiya», 1980. – Kemerovskij filial FBU «TFGI po SFO», Inv. № 18860.

4. Lapshin, N.N. Rekomendatsii po gidrogeologicheskim raschetam dlya opredeleniya granits II i III poyasov zon sanitarnoj okhrany podzemnykh istochnikov khozyajstvenno-pitevogo vodosnabzheniya / N.N. Lapshin, A.E. Oradovskaya. – M. : VNII «VODGEO», 1983.

5. Sindalovskij, L.N. Gidrogeologicheskie raschety s ispolzovaniem programmy ANSDIMAT / L.N. Sindalovskij. – SPb. : Nauka, 2021. – 891 s.

6. Uvarov, A.N. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federatsii masshtaba 1:200 000 : izd. 2-e. Seriya Kuzbasskaya. List N-45-V (Tisul) / A.N. Uvarov, V.N. Tokarev, V.S. Dubskoj [i dr.]. – M. : FGUGP «Zapsibgeolsemka», 2019.

7. Fajner, YU.B. Geologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:200 000. Seriya Kuzbasskaya. List O-45-XXXV / YU.B. Fajner, N.A. Gladkikh. – M. : Nedra, 1963.

8. Fajner, YU.B. Geologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:200 000. Seriya Kuzbasskaya. List N-45-V / YU.B. Fajner, P.A. Ponomarev [i dr.]. – M. : SNIIGGIMS, 1969.

© В.О. Левин, О.Л. Козлова, 2026

УДК 624.154.9:624.137.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АНКЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНЫ С ПЕСЧАНЫМ ГРУНТОМ

Д.В. ЧЕРНЯТИН[1], А.И. ХАРИЧКИН[1], А.В. ДРАНИЦЫН[2], Н.А. АФАНАСЬЕВ[1]

[1] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
[2] Московский государственный строительный университет»;
Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений имени Н.М. Герсеванова,
филиал АО «НИЦ «Строительство»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: грунтовые анкеры; длина анкера; натурный эксперимент; песчаный грунт.

Аннотация: В работе представлены результаты экспериментального исследования взаимодействия анкерных конструкций различной длины с песчаным грунтом.

Цель исследования – анализ влияния длины корня анкера на характер распределения реакции грунта и механизм мобилизации сопротивления при выдергивающей нагрузке.

Задачи исследования включали: проведение натурного эксперимента с анкерами длиной 1,5; 3,0 и 4,5 м; регистрацию напряженно-деформированного состояния грунта с использованием тензометрических датчиков; анализ распределения реакции грунта вдоль корня анкера на различных стадиях нагружения.

Гипотеза исследования заключалась в предположении о нелинейной зависимости между длиной анкера и вовлекаемым в работу объемом грунта, а также о наличии ограниченной активной зоны взаимодействия.

Методы исследования включали физическое моделирование в крупном грунтовом лотке, инструментальные измерения с использованием тензометрических датчиков, а также сопоставительный анализ экспериментальных данных.

Результаты исследования показали, что увеличение длины анкера не приводит к пропорциональному вовлечению грунтового массива в работу. Установлено изменение характера распределения реакции грунта по длине анкера и выявлено существование ограниченной зоны взаимодействия «анкер – грунт». Полученные результаты уточняют представления о механизме работы анкеров и могут быть использованы при развитии расчетных моделей их несущей способности.

Введение

Анкерные конструкции широко применяются в инженерной практике для обеспечения устойчивости подпорных сооружений и различных инженерных объектов. Одним из ключевых параметров, определяющих их эффективность и работоспособность, является несущая способность анкера по грунту, которая зависит от комплекса факторов: конструкции и технологии устройства, глубины и угла заложения, геометрических характеристик корневой части анкера (диаметра и длины), состава и свойств грунта, а также характера напряженно-деформированного состояния (**НДС**) массива в процессе устройства и эксплуатации.

Влияние технологии устройства анкерных конструкций рассмотрено в ряде работ [1; 3]. Влияние диаметра корневой части анкера на его несущую способность также подробно исследовано [2]. Существенное влияние на несущую способность оказывает глубина заложения ан-

кера [1]. Влияние типа и состояния грунта отражено в работах [7; 9]. Таким образом, влияние отдельных параметров анкерных конструкций на их несущую способность достаточно подробно изучено.

Однако при анализе влияния длины корня анкера многие исследователи отмечают нелинейный характер изменения несущей способности при ее увеличении [6; 9]. Это приводит к постановке вопроса о наличии эффективной длины анкерных конструкций, в пределах которой происходит основная мобилизация сопротивления грунта.

Согласно результатам исследований [4–5], посвященных работе коротких грунтовых анкеров на основе трубчатых винтовых штанг (**АТВШ**), в процессе нагружения формируется уплотненная зона грунта вокруг анкера, имеющая форму усеченного конуса и вносящая свой вклад в несущую способность конструкции.

Также авторы отмечают, что срыв анкера происходит не по контактной поверхности «анкер – грунт», а по границе уплотненной зоны, реализуя механизм «грунт по грунту».

Вместе с тем отмечается, что для анкеров длиной более 3 м учет указанной зоны не обеспечивает удовлетворительного совпадения расчетных и экспериментальных значений несущей способности, что может свидетельствовать об изменении механизма взаимодействия «анкер – грунт» с увеличением длины корня.

Указанные особенности обусловили необходимость более детального исследования влияния длины корня анкера на характер взаимодействия с грунтовым массивом при действии горизонтальной выдергивающей нагрузки.

В ранее выполненных нами исследованиях, основанных на методах физического моделирования с применением технологии цифровой корреляции изображений, были выявлены активные зоны взаимодействия анкера с грунтовым массивом [8]. Установлено, что форма и размеры данных зон зависят от длины корня анкера и не масштабируются пропорционально его геометрической длине.

Для анкеров малой длины активная зона формируется практически на всю длину корня и имеет форму, близкую к усеченному конусу, при этом максимальные перемещения частиц грунта наблюдаются вблизи оголовка анкера. Для анкеров средней и большой длины активная зона приобретает более сложную форму, близкую к эллипсоидной, и локализуется на отдельном участке корня, преимущественно в его средней и концевой части.

Однако полученные результаты имеют ограничения, связанные с особенностями моделирования в малом грунтовом лотке, влиянием граничных условий и возможным проявлением масштабного эффекта.

В связи с этим возникла необходимость проведения экспериментальных исследований анкерных конструкций различной длины в большом грунтовом лотке с инструментальным контролем реакции грунта с использованием тензометрических датчиков, размещенных вдоль корня анкера.

Особое внимание в работе уделено анализу распределения реакции грунта по длине анкера при приложении выдергивающей нагрузки и оценке характера мобилизации сопротивления в зависимости от длины корня.

Целью работы является исследование распределения реакции грунта вдоль корня анкера и уточнение представлений о характере его взаимодействия с грунтовым массивом в зависимости от длины корня.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования выполнены в грунтовом лотке размерами в плане 5×5 м и глубиной 4,2 м, расположенном в экспериментальном комплексе научно-исследовательской лаборатории гидротехнических сооружений НОЦ «Гидротехника» НИУ МГСУ. На рис. 1 представлена схема площадки испытания, на рис. 2 – фотография испытательного лотка перед началом эксперимента.

Размеры и конструкция лотка обеспечили минимизацию влияния граничных условий и формирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива, приближенного к натурным условиям.

В качестве модельного грунта использовался однородный мелкий песок. Перед началом испытаний выполнялось определение его физических характеристик, на основании которых разрабатывалась схема укладки и уплотнения массива. В табл. 1 представлены физико-механические характеристики использованного грунта.

Формирование грунтового массива осуществлялось послойной укладкой песка слоями толщиной 0,25–0,30 м с последующим уплотнением виброплитой и планировкой поверхности,

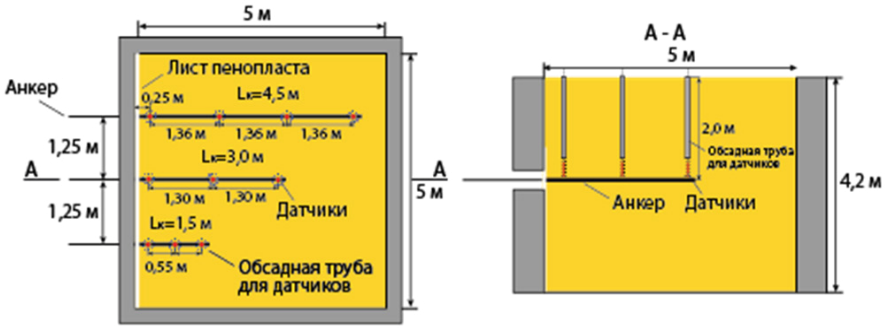


Рис. 1. Схема испытательной площадки

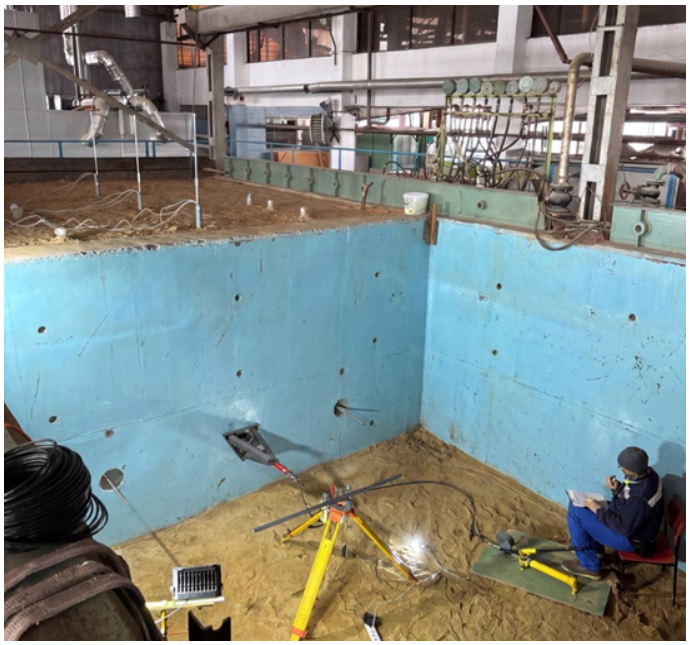


Рис. 2. Фотография испытательной площадки перед началом эксперимента

Таблица 1. Физико-механические характеристики песчаного грунта

Плотность частиц грунта γ_s, г/см^3	2,67
Пористость *n*, %	35,6
Влажность природная *W*, %	0,6
Степень влажности *Sr*, д.ед.	0,03
Коэффициент пористости природного сложения *e*, ед.	0,56
Угол внутреннего трения φ, град.	37
Удельное сцепление *C*, МПа	0,002
Модуль деформации *E*, МПа	21
Коэффициент Пуассона ν, д.ед.	0,29
Угол дилатансии ψ, град.	6

что обеспечивало получение однородного по плотности массива.

В качестве моделей анкерных конструкций использовались элементы, аналогичные примененным ранее в выполненных лабораторных исследованиях в малом грунтовом лотке. Были подготовлены три модели анкеров без свободной длины с длиной корня 1,5; 3,0 и 4,5 м.

Модель анкера представляла собой резьбовую шпильку диаметром 20 мм, обладающую повышенной жесткостью при растяжении и винтовой поверхностью, обеспечивающей сцепление с окружающим материалом. Для формирования требуемой длины корня отдельные элементы шпильки соединялись с использованием муфт.

Перед установкой в грунтовый массив поверхность шпильки обматывалась пластиковой сеткой с целью компенсации локальных утолщений в зонах муфтовых соединений и формирования постоянного наружного диаметра по всей длине анкера, после чего наносился равномерный слой эпоксидной смолы толщиной 3–5 мм. Свеженанесенный слой смолы обсыпался песком, что обеспечивало формирование шероховатой поверхности. В результате подготовки средний диаметр модели анкера составил 40 мм.

После схватывания эпоксидного слоя анкеры укладывались в грунтовый массив на заданной глубине, после чего выполнялась послойная засыпка песка с уплотнением до верха лотка.

Для размещения тензометрических датчиков в процессе формирования массива устанавливались вертикальные обсадные трубы из ПВХ диаметром 50 мм. Нижний конец труб располагался на расстоянии 3 см от поверхности анкера. Использование обсадных труб позволило исключить механическое воздействие на датчики при послойной засыпке и уплотнении песка и обеспечить их установку в проектное положение непосредственно перед началом испытаний.

Для инструментального контроля реакции грунта применялись тензометрические датчики, объединенные в измерительные гребенки. Конструктивно гребенка представляла собой металлическую пластину, разделенную на отдельные чувствительные элементы (лепестки), на которые с двух сторон наклеивались тензорезисторы, соединенные по полумостовой схеме. Такая конструкция обеспечивала регистрацию деформаций изгиба лепестков, возникающих под воздействием окружающего грунта.

Перед проведением испытаний каждый чувствительный элемент проходил индивидуальную калибровку путем приложения нагрузки известной величины к свободному краю лепестка, что позволяло установить зависимость между сигналом датчика и действующей нагрузкой.

Установка гребенок в грунтовый массив осуществлялась через обсадные трубы непосредственно перед началом испытаний. После размещения датчиков производилось частичное заполнение трубы песком с последующим подъемом обсадной трубы, что обеспечивало свободное положение гребенки в массиве. Далее выполнялась засыпка и уплотнение грунта, обеспечивающие контакт датчиков с окружающим грунтом. Ориентация датчиков при установке соответствовала направлению действия выдергивающей нагрузки.

Измерительные гребенки устанавливались в нескольких характерных сечениях вдоль корня анкера, расположенных вблизи его начала, средней части и конца.

Следует отметить, что получаемые сигналы отражают локальную реакцию грунта на деформацию чувствительных элементов и используются в работе как сравнительная характеристика поведения грунтового массива.

Для создания испытательной нагрузки использовались гидравлические домкраты: для анкеров длиной 1,5 и 3,0 м – грузоподъемностью 5 т, для анкера длиной 4,5 м – 30 т.

При испытании анкеров длиной 1,5 и 3,0 м нагружение осуществлялось с использованием силового стенда, представляющего собой сварную пространственную конструкцию, закрепленную на стене лотка. Передача нагрузки на анкер выполнялась через подвижную тягу, соединенную с оголовком анкера и служащую упором для гидравлического домкрата.

Для анкера длиной 4,5 м схема нагружения была модифицирована: домкрат опирался на металлические элементы, закрепленные на стене, при этом усилие передавалось непосредственно на анкер через шток домкрата с фиксацией посредством гайки.

Нагружение осуществлялось ступенчато с использованием гидравлической маслостанции с ручным приводом. Контроль прикладываемого усилия выполнялся по показаниям манометра, регистрирующего давление в гидравличе-

Таблица 2. Значения расчетной и фактической предельной нагрузки для анкеров различной длины

Длина анкера, м	$P_{пр}^{DIN}$, кН	$P_{пр}^{Исп}$, кН	Отклонение, %
1,5	8,1	16,2	100 %
3	55,45	34,3	–38 %
4,5	83,16	58,9	–29 %

ской системе домкрата.

Перемещения оголовка анкера в процессе испытаний измерялись с помощью двух прогибомеров ПСК-МГ4 с проволочной связью. Использование двух приборов позволяло контролировать возможный перекос анкера при нагружении и обеспечивало дублирование измерений. Цена деления приборов составляла 0,01 мм.

Методика испытания

Перед началом испытаний был выполнен предварительный расчет несущей способности анкеров по методике *DIN* 1054. Расчетные значения составили: для анкера длиной 1,5 м – 8,1 кН, для анкера длиной 3,0 м – 55,45 кН, для анкера длиной 4,5 м – 83,16 кН.

Испытания проводились поочередно для каждого анкера. После завершения испытания очередного анкера оборудование демонтировалось и устанавливалось на следующий.

Каждый анкер испытывался до достижения предельного состояния (срыва). В качестве критерия срыва принимался выход анкера из грунта более чем на 20 мм либо резкое увеличение перемещений, превышающее перемещение на предыдущей ступени нагружения более чем в 5 раз.

Нагружение осуществлялось статической выдергивающей нагрузкой ступенями. Величина ступени принималась равной 1/6 от разности между расчетной испытательной нагрузкой и начальной нагрузкой, составляющей 20 % от испытательной. Время выдержки на каждой ступени составляло 15 минут.

В процессе выдержки выполнялась регистрация перемещений анкера: непосредственно после приложения нагрузки, а затем через 1, 3, 5, 7, 10, 12 и 15 минут.

Нагружение продолжалось до достижения предельной ступени, после чего выполнялась разгрузка до начальной нагрузки $P0$ с фиксацией перемещений на ранее пройденных ступенях.

После достижения предельной нагрузки $P_{пр}$ дополнительно проводилась выдержка в течение 3 минут с регистрацией перемещений через заданные интервалы времени. По завершении испытания выполнялась полная разгрузка анкера.

В процессе всего испытания осуществлялась непрерывная регистрация показаний тензометрических датчиков с шагом 1 секунда. Параллельно велся журнал основных этапов нагружения и событий в ходе эксперимента.

Результаты

В ходе проведенных испытаний были получены значения предельной нагрузки, зависимости перемещений анкеров от приложенной нагрузки, а также данные тензометрических датчиков, характеризующие реакцию грунта в различных сечениях вдоль корня анкера.

По результатам испытаний получены значения предельной нагрузки для анкеров различной длины. Сопоставление экспериментальных значений с расчетными, определенными по методике *DIN* 1054, выявило их существенное расхождение, что показано в табл. 2. При этом для анкера длиной 1,5 м экспериментальное значение превышает расчетное, тогда как для анкеров большей длины наблюдается обратная зависимость, расчетные значения оказываются выше фактических.

Подобное расхождение между расчетными и фактическими значениями ранее отмечалось в ряде работ [1; 4–5] и объяснялось упрощенным характером расчетных методик, не учитывающих ряд факторов, влияющих на несущую способность анкеров. Одним из таких факторов может являться изменение характера взаимодействия анкеров различной длины с грунтовым массивом, включая особенности формирования зоны мобилизации сопротивления и

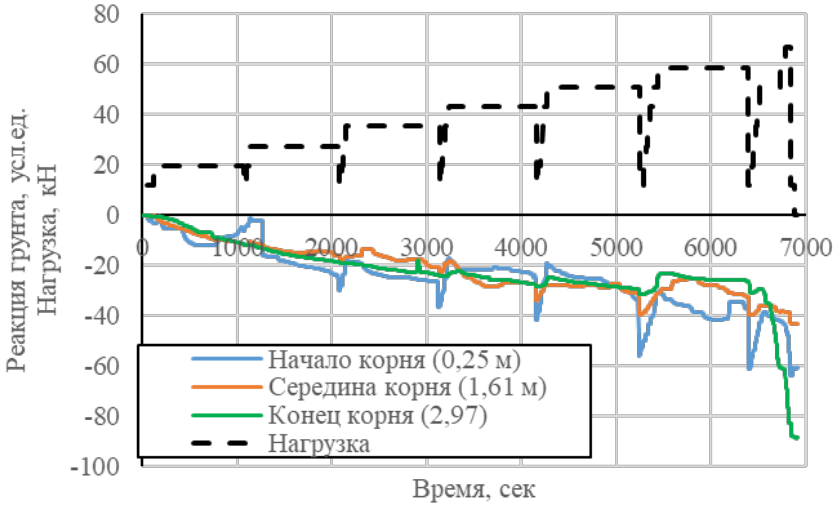


Рис. 3. График зависимости реакции грунта в различных сечениях вдоль корня анкера длиной 4,5 м и прикладываемой нагрузки во времени

ограниченный объем вовлекаемого грунта.

В связи с этим особый интерес представляет анализ экспериментальных данных, полученных с использованием тензометрических датчиков, позволяющих оценить распределение реакции грунта вдоль корня анкера и выявить особенности его взаимодействия с массивом при различной длине.

На рис. 3 приведены зависимости реакции грунта в различных сечениях вдоль корня анкера длиной 4,5 м и прикладываемой нагрузки во времени. Видно, что изменения сигналов датчиков согласуются с этапами нагружения и разгрузки между ступенями, что указывает на корректность их работы.

Следует отметить, что регистрируемые значения отражают локальную результирующую воздействия грунтового массива на чувствительный элемент, формирующуюся под воздействием вовлекаемого грунта в работу со стороны конца анкера и сопротивления массива с противоположной стороны. Для датчиков, расположенных вблизи стенки лотка, возможно дополнительное влияние отпора со стороны стенки.

Несмотря на указанные особенности интерпретации измерений, полученные данные позволяют проследить характер изменения реакции грунтового массива в различных сечениях вдоль корня анкера и выполнить их сопоставительный анализ.

Для анализа закономерностей взаимодействия анкера с грунтовым массивом рассмотрено распределение реакции грунта вдоль корня анкера. Сопоставление выполнено для трех этапов нагружения, соответствующих значениям, близким к 0,5 и 0,75 от предельной нагрузки, а также для предсрывной стадии – по данным за 3 минуты до момента срыва для каждого анкера.

Сопоставление выполнено в относительных координатах x/L, где x – расстояние от стенки лотка до сечения с датчиком, L – полная длина анкера.

На рис. 4а представлены зависимости распределения реакции грунта вдоль корня анкера при уровне нагрузки около 0,5 от предельной. Для анкера длиной 1,5 м и 3 м наблюдается похожий характер реакции с выраженным минимумом в середине анкера. При этом отклик на 3-метровом анкере выше, чем на 1,5-метровом. Для анкера длиной 4,5 м распределение реакции характеризуется меньшей неравномерностью и прослеживается тренд к уменьшению отклика ближе к концу корня.

Аналогичные зависимости для уровня нагрузки около 0,75 от предельной приведены на рисунке 4б. При увеличении уровня нагрузки выявленные закономерности изменяются, и различия между сечениями становятся более выраженными. Для 1,5-метрового анкера отклик в сечении ближе к стене, приближается к нулю и резко растет ближе к концу корня. У 3-метрового анкера нет такого выраженного падения отклика в сечении у стены, но также отмечен рост реакции к концу корня, однако он более плав-

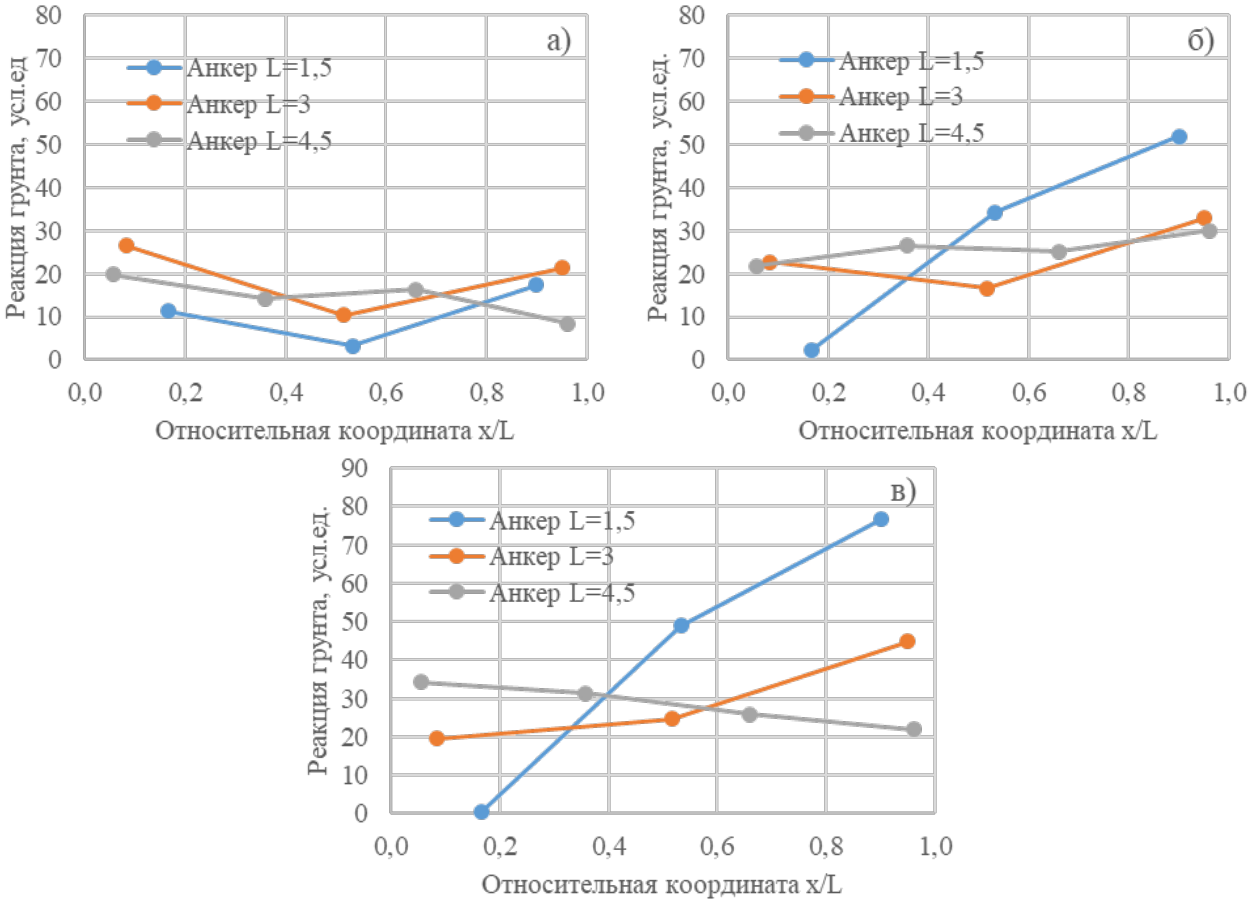


Рис. 4. График распределения реакции грунта вдоль корня анкера на трех этапах нагружения: а) – 0,5 от *P*пр; б) – 0,75 от *P*пр; в) – перед срывом

ный по сравнению с 1,5-метровым анкером. У 4,5-метрового анкера сохраняется равномерность распределения реакции вдоль длины корня, но также происходит небольшое снижение отклика в сечении у стены и небольшой рост в хвосте корня.

Дополнительный анализ распределения реакции грунта на предсрывной стадии (рис. 4в) показал, что выявленные закономерности на предыдущем этапе сохраняются и вблизи предельного состояния.

Для анкера длиной 1,5 м наблюдается существенное увеличение реакции в концевой части корня, значение реакции в сечении у стены остается по-прежнему близким к нулю. Для анкера длиной 3,0 м распределение сохраняет характер, однако происходит общий рост отклика в середине и конце анкера. Для анкера длиной 4,5 м распределение реакции остается более равномерным по длине корня, максимум значения реакции – в сечении у стены, минимум – в хвосте корня.

Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что характер распределения реакции грунта вдоль корня анкера при выдергивающей нагрузке существенно зависит от длины анкера. Это указывает на различный механизм вовлечения грунта в работу и перераспределения нагрузки по длине корня.

Для короткого анкера (1,5 м) характерна выраженная неравномерность реакции с резким ростом отклика в хвостовой части на предельных стадиях нагружения. Это может быть связано с тем, что на коротких анкерах происходит более интенсивное вовлечение грунта в работу, что согласуется с выводами ранних исследований. Кроме того, регистрируемая результирующая реакция вблизи стенки лотка значительно обнуляется за счет отпора массива, что подтверждается восстановлением показаний датчика после разгрузки.

С увеличением длины анкера до 3,0 м и

4,5 м распределение реакции становится более равномерным, что свидетельствует о вовлечении более протяженной зоны грунта в совместную работу. Вместе с тем увеличение длины не приводит к пропорциональному росту несущей способности, что позволяет говорить о наличии ограниченной по размерам активной зоны взаимодействия анкера с грунтом. Этот вывод качественно согласуется с результатами физического моделирования в малом грунтовом лотке, где также было показано, что активная зона не масштабируется пропорционально длине анкера.

Для всех рассмотренных анкеров на предсрывных стадиях нагружения наблюдается рост отклика в хвостовой части корня. Это может отражать формирование зоны локального разуплотнения (вплоть до образования полости) при смещении анкера и ослаблении сопротивления массива.

Такая интерпретация согласуется с наблюдениями, приведенными в работе [4], где после откопки анкеров в концевой части фиксировались полости, ориентированные в сторону действия выдергивающей нагрузки.

Выводы

По результатам выполненных экспериментальных исследований могут быть сформулированы следующие выводы.

1. Увеличение длины корня анкера сопровождается ростом предельной нагрузки, при этом зависимость носит нелинейный характер.

2. Сопоставление экспериментальных значений предельной нагрузки с расчетными по методике *DIN* 1054 выявило их существенное расхождение, что указывает на ограниченность существующих расчетных подходов.

3. Распределение реакции грунта вдоль корня анкера существенно зависит от его длины. Для анкера 1,5 м характерна выраженная неравномерность, для анкеров 3,0 и 4,5 м – более равномерное распределение.

4. С ростом нагрузки характер распределения реакции трансформируется: для анкера 1,5 м минимум в средней части при 0,5*P*пр сменяется монотонным возрастанием от стенки к пятке при 0,75*P*пр и на предсрывной стадии; для анкеров 3,0 и 4,5 м общая форма распределения сохраняется, а различия между сечениями становятся более выраженными.

5. Полученные результаты свидетельствуют о том, что вовлекаемый в работу объем грунта не масштабируется пропорционально длине анкера, что указывает на наличие ограниченной зоны взаимодействия «анкер – грунт».

6. Экспериментальные данные позволяют уточнить представления о механизме работы анкера и могут быть использованы для верификации расчетных моделей.

Литература

1. Малинин, Д.А. Несущая способность винтовых анкеров «Атлант» / Д.А. Малинин // Жилищное строительство. – 2012. – № 9. – С. 46–49.

2. Мишаков, В.А. Расчет несущей способности инъекционных анкеров / В.А. Мишаков, В.Ф. Раюк // Опыт и перспективы применения способа «стена в грунте» и анкеров в грунте при строительстве подземных сооружений : материалы Всесоюзного семинара. – Челябинск, 1981. – С. 41–44.

3. Никитенко, М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при строительстве и реконструкции зданий и сооружений : монография / М.И. Никитенко. – Минск : БНТУ, 2007. – 580 с.

4. Соловьев, Д.Ю. Исследование несущей способности анкерных конструкций, устраиваемых по технологии бурения трубчатыми винтовыми штангами / Д.Ю. Соловьев, А.И. Харичкин, А.В. Драницын, И.М. Галимов // Геотехника. – 2023. – Т. XV. – № 1. – С. 22–37. – DOI: 10.25296/2221-5514-2023-15-1-24-39.

5. Соловьев, Д.Ю. Экспериментальные исследования несущей способности анкерных свай и расчетные методы ее определения / Д.Ю. Соловьев, А.И. Харичкин, С.В. Курилло, А.В. Драницын, В.Г. Федоровский // Геотехника. – 2019. – Т. XI. – № 1. – С. 44–54. – DOI: 10.25296/2221-5514-2019-11-1-44-54.

6. Barley, A.D. A Study and Investigation of Underrarmed Anchors and Associated Lead Transfer Mechanisms / A.D. Barley // Thesis, Marischal College. – Aberdeen, 1978. – P. 91–106.

7. Bustamante, M. Behaviour of prestressed anchors in plastic clay / M. Bustamante, F. Delmas, J. Lacour // Revue francaise de géotechnique. – 1978. – Vol. 3. – P. 79–87.

8. Chernyatin, D. Interaction of loaded anchor models using self-drilling bars of different lengths with soil / D. Chernyatin, A. Kharichkin, I. Galimov // International Journal of Physical Modelling in Geotechnics. – 2026. – Vol. 26. – No. 1. – P. 1–11. – DOI: 10.1680/jphmg.25.00006.

9. Ostermayer, H.I. Research on ground anchors in non-cohesive soils / H.I. Ostermayer, F. Scheele // Proc. 9th International Conference. – Tokyo, 1977. – P. 92–97. – DOI: 10.1051/geotech/1978003092.

References

1. Malinin, D.A. Nesushchaya sposobnost vintovykh ankerov «Atlant» / D.A. Malinin // ZHilishchnoe stroitelstvo. – 2012. – № 9. – S. 46–49.

2. Mishakov, V.A. Raschet nesushchej sposobnosti inektsionnykh ankerov / V.A. Mishakov, V.F. Rayuk // Opyt i perspektivy primeneniya sposoba «stena v grunte» i ankerov v grunte pri stroitelstve podzemnykh sooruzhenij : materialy Vsesoyuznogo seminara. – CHelyabinsk, 1981. – S. 41–44.

3. Nikitenko, M.I. Buroinektsionnye ankery i svai pri stroitelstve i rekonstruktsii zdanij i sooruzhenij : monografiya / M.I. Nikitenko. – Minsk : BNTU, 2007. – 580 s.

4. Solovev, D.YU. Issledovanie nesushchej sposobnosti ankernykh konstruktsij, ustraivaemykh po tekhnologii bureniya trubchatymi vintovymi shtangami / D.YU. Solovev, A.I. KHarichkin, A.V. Dranitsyn, I.M. Galimov // Geotekhnika. – 2023. – T. XV. – № 1. – S. 22–37. – DOI: 10.25296/2221-5514-2023-15-1-24-39.

5. Solovev, D.YU. Eksperimentalnye issledovaniya nesushchej sposobnosti ankernykh svaj i raschetnye metody ee opredeleniya / D.YU. Solovev, A.I. KHarichkin, S.V. Kurillo, A.V. Dranitsyn, V.G. Fedorovskij // Geotekhnika. – 2019. – T. XI. – № 1. – S. 44–54. – DOI: 10.25296/2221-5514-2019-11-1-44-54.

© Д.В. Чернятин, А.И. Харичкин, А.В. Драницын, Н.А. Афанасьев, 2026

УДК 69

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ БЛОКОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ СТЕН В ИНДИВИДУАЛЬНО-ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

П.В. ГАЙДУКОВ, О.В. ВОРОНКОВА

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва;
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: малоэтажное строительство; многослойные блоки; индивидуальные дома; теплоизоляция; энергоэффективность; армирование; конструктивные решения; сейсмоустойчивость; технологичность монтажа; строительные материалы.

Аннотация: Цель исследования – выявление наиболее эффективных конструктивных решений многослойных стеновых блоков для повышения технологичности, экономической эффективности и энергоэффективности малоэтажного строительства. Задачи исследования – проведение сравнительного анализа многослойных блоков различной конструкции в части технологичности их конструкции и использования. Методы исследования – анализ и сравнение существующих конструкций многослойных стеновых блоков, обобщение данных о технологических, эксплуатационных и экономических характеристиках материалов и конструктивных решений.

Результаты исследования – установлено наиболее перспективное решение многослойных стеновых блоков, сочетающее долговечность, высокие теплоизоляционные свойства и удобство монтажа. Выявлена необходимость разработки адаптивных конструкций, учитывающих климатические, экономические и технологические требования, а также условия сейсмоопасных районов.

Введение

Малоэтажное строительство пользуется устойчивым спросом, поскольку обеспечивает комфортное и доступное жилье для многих семей. Для дальнейшего развития этой отрасли важно повысить доступность возведения индивидуальных домов. При этом ключевыми факторами влияния остаются производственная и монтажная технологичность, стоимость строительства и энергоэффективность зданий. Одной из основных задач строительства в современной России является снижение его себестоимости и повышение энергоэффективности [6]. В ходе сравнительного анализа показателей многослойных наружных стен наиболее целесообразным вариантом было признано устройство наружных стен из многослойных блоков. Хотя себестоимость «мокрого фасада» по сравнению с каменной кладкой ниже из-за меньших затрат на штукатурные работы, но трудоемкость и меньшая долговечность делают эту технологию менее предпочтительной. Анализ представлен в статье В.Ф. Богданова [7].

Проектирование конструкций из многослойных блоков требует учета множества условий: климат, производственные возможности, доставка, процесс кладки и функционирование конструкций. Совокупность факторов требует оперативной корректировки характеристик: формы, состава и размеров блоков. Помимо этого, следует учитывать повышенные требования к изоляции помещений и процесс строительства. Для выявления основных тенденций в развитии многослойных блоков был проведен анализ существующих решений.

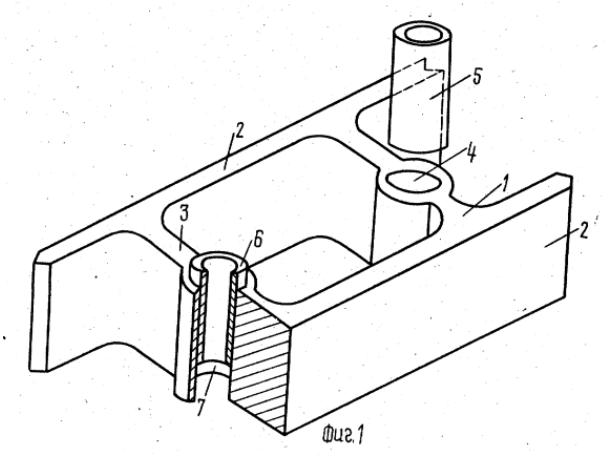


Рис. 1. Строительный блок Г.Г. Шаяхметова

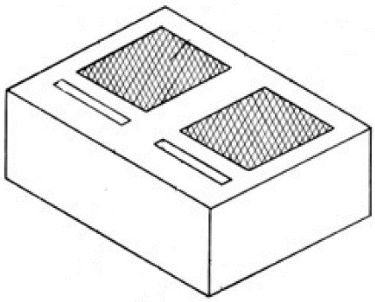


Рис. 2. Строительный блок А.Г. Литвинова

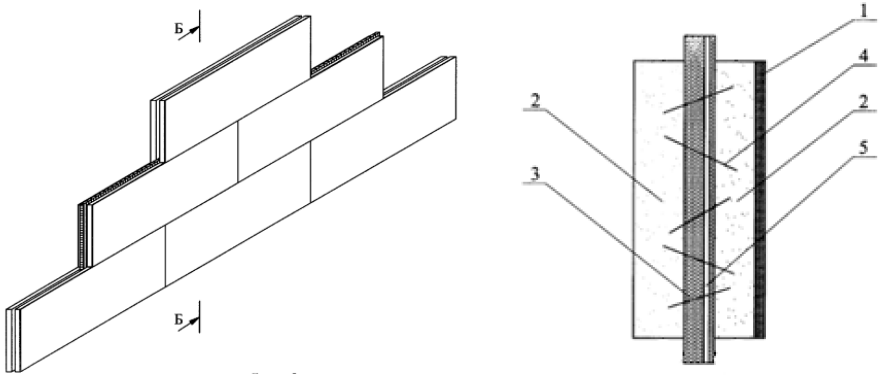


Рис. 3. Блок строительный универсальный Н.А. Сазонова:
1 – лицевой слой; 2 – бетонный строительный слой; 3 – теплоизоляционный слой; 4 – перемычка; 5 – сквозное отверстие

Обзор существующих решений конструкций многослойных блоков

В 1990 г. Г.Г. Шаяхметов (Авторское свидетельство № 1819313 СССР) предлагает конструкцию из строительных стеновых блоков, прочность которой обеспечивается за счет вертикальных бетонных стержней, связанных с цоколем здания бетонным поясом. Блок представляет из себя две продольные облицовочные плиты (2), между которыми на 1/4 длины блока расположены поперечные стенки (3). В стенках сделаны отверстия для размещения гильз, при размещении гильзы образуют выступ (6) и выемку (7). Для цокольного уровня используются специальные укороченные гильзы.

Блок может быть изготовлен из бетона или цементного раствора с различными наполнителями методом полусухого прессования. Допустимо выполнять из керамического материала с последующим обжигом.

Последующие ярусы конструкции выполняются со смещением и фиксируются гильзой верхнего ряда за выступ, образованный нижним, по завершению выкладки стены или ее части, отверстия (4) заполняются бетоном, образовавшиеся стержни надежно связывают ярусы и обеспечивают прочность конструкции. Данная модель сложна в производстве.

В 1997 г. А.Г. Литвинов предложил модель строительного стенового блока (Патент на полезную модель № 7434 *U*1 Российская Федерация). Блок состоит из каркаса, представленного в виде вертикальных стенок и ребер жесткости, и пустот, которые можно заполнить различными теплоизоляционными материалами, также представлена возможность бетонирования пустот с армированием. Несущий слой

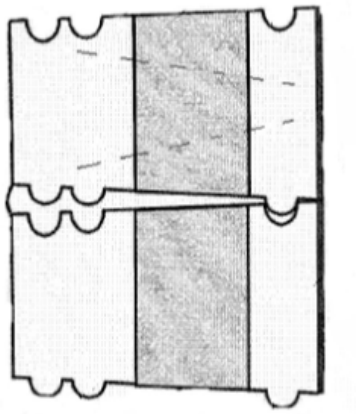


Рис. 4. Многослойный строительный блок Д.А. Васенина

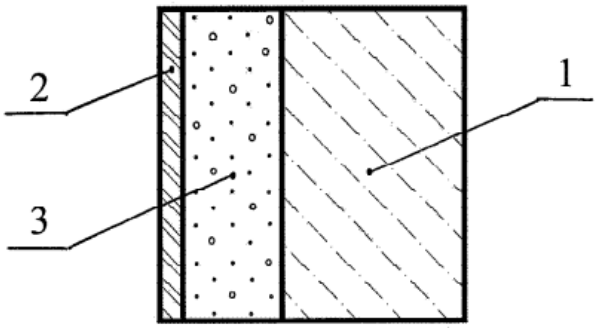


Рис. 5. Строительный блок А.Н. Пичугина

выполняется из керамзитобетона. Перевязка вертикальных швов реализуется за счет сдвига последующего яруса на 0,5 от длины блока, при увеличении ребер жесткости длина сдвига корректируется. Модель позволила уменьшить толщину наружных стен, термическое сопротивление которых в 3 раза превысило показатель стен из керамического кирпича с пустотами при одинаковой толщине конструкции.

Сцепление слоев можно производить за счет соединительных стержней. В качестве примера возьмем универсальный блок Н.А. Сазонова (Патент на полезную модель № 54982 *U*1 Российская Федерация), предложенный в 2006 г. Конструкция имеет ярко выраженный лицевой слой.

Для снижения тепловых потерь в местах стыка устраиваются пазы одинаковой глубины в теплоизоляционном слое, которые обеспечивают соединение по методу «шип – паз», что, в свою очередь, положительно сказывается на трудоемкости работ и сложности исполнения.

Сборка производится с использованием связующего вещества, например, клея на основе полиуретана.

В 2011 г. Д.А. Васенин (Патент на полезную модель № 109770 *U*1 Российская Федерация) тоже выбирает трапециевидную форму блока, обуславливая данный выбор экономией кладочного раствора, повышением производительности труда и возможностью избежать порчи декоративного слоя конструкции. Д.А. Васенин предлагает обратную В.А. Лещикову схему возведения конструкции: вместо формирования вогнутого фасада развернуть меньшее основание трапеции внутрь, за счет плотного примыкания декоративного слоя излишки раствора будут выходить преимущественно под уклон в сторону несущего слоя. Таким образом, выбранная форма и наличие пазов позволит производить дозировку раствора, также пазы выступают в качестве фиксаторов выступов, что требует меньшую квалификацию исполнителей.

Для исключения скрепляющих элементов и увеличения фактур лицевого слоя А.Н. Пичугин (Патент на полезную модель № 88705 *U*1 Российская Федерация) предложил воспользоваться адгезивными свойствами пенополиуретана. В качестве лицевого слоя (2) предлагается использовать керамогранит, мрамор, клинкерную плитку, асбестоцементные, кафельные плиты и т.д. Несущий слой (1) можно выполнить из пенобетона, газобетона, керамзитобетона, шлакоблока, деревянного бруса и т.д. В качестве плюсов использования пенополиуретана как теплоизоляционного слоя (3) приведена его экологичность и высокие тепло- и звукоизоляционные характеристики. Высокая адгезионная прочность данного материала обеспечивает надежную фиксацию несущего и лицевого слоя относительно друг друга.

Реализовать стык через выемку и выступы можно не только в теплоизоляционном слое, но и в несущем слое конструкции. Блок С.А. Сироткина [16]: перенос места стыка блоков обоснован тем, что наличие выступов и впадин на лицевом или теплоизоляционном слое снижает надежность возводимых конструкций. Гребень (6) располагается на нижней и боковой поверхностях блока, паз (7) расположен на верхней

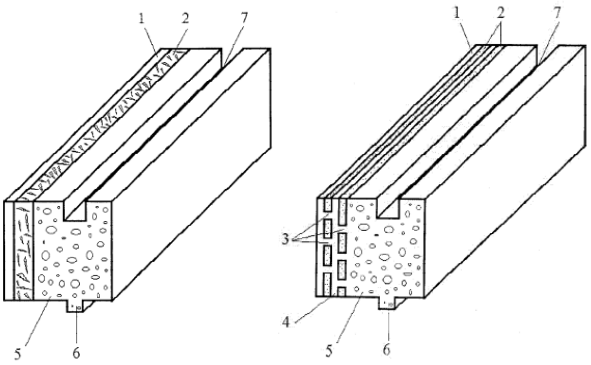


Рис. 6. Строительный блок С.А. Сироткина: 1 – декоративный слой; 2 – теплоизоляционный слой; 3 – отверстие; 4 – соединительный слой; 5 – несущий слой; 6 – гребень; 7 – паз

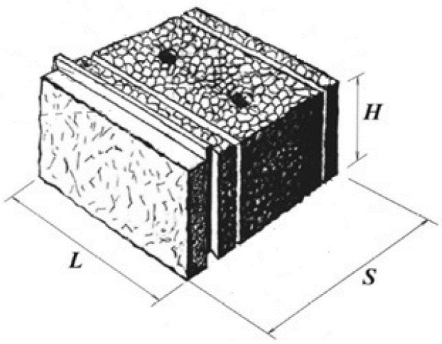


Рис. 7. Строительный стеновой блок А.А. Балаева

плоскости и имеет глубину, достаточную для расположения арматурного стержня. Также вместо одного теплоизоляционного слоя с единым вкладышем предлагается вариант с двумя слоями, в таком случае присутствует соединительный слой из бетона с добавлением металлической фибры. Для проникновения соединительного слоя от декоративного к несущему выполняются отверстия, оси которых смещены относительно друг друга для устранения «мостиков холода». Используемые материалы: несущий и декоративный слои выполняются из бетона, теплоизоляционный из минеральной ваты, стекловаты, пенопласта, либо из бетона с добавлением древесной щепы.

В качестве аналога можно привести патент Д.А. Васенина [14]. Соединение слоев выполняется из полимерных стержней, пазы выполняются округлой, треугольной или иной формы. Блок А.А. Балаева (Патент № 2742921 *C*2 Российская Федерация) имеет форму параллелепипеда, паз и гребень находятся в лицевом слое блока, в промежуточном слое для расположения клеевой композиции предусмотрены сообщенные между собой продольные и вертикальные канавки, помимо клеевого раствора предполагается размещение продольных армирующих элементов. В состав теплоизоляционного слоя входит наполнитель с малой насыпной плотностью – керамзитовый гравий, гранулированное пеностекло или диспергированный фибропенобетон. Лицевой слой содержит наполнители: песок, гранитную или каменную крошку, цемент и т.д., пластины из камня, дробленный керамзит, гипсовые смеси, красители. Задний слой содержит наполнители и пластификатор, поверхность выполняется условно гладкой с порами под отделку.

Процесс укладки блоков, описанный А.А. Балаевым, представляет собой серию последовательных этапов: осуществляется нанесение клеевого вещества на горизонтальную поверхность ранее установленного ряда, затем размещаются блоки следующего ряда. Важно также обеспечить совмещение вертикальных отверстий, предназначенных для ввода армирующих элементов, размещение производится либо сразу в отверстия, заполненные клей-пеной, либо композиция под давлением вводится уже после размещения элемента. Между рядами блоков (между горизонтальными канавками) следует разместить нетканое полотно, изготовленное из упругих волокон. В качестве клеевой композиции предлагается использовать клей-пену, монтажную пену или текучую массу из связующего материала.

Заключение

Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод, что практически все блоки, за исключением 3 варианта, обладают достаточной прочностью для выполнения функции несущей или самонесущей конструкции. Вес блока около 30 кг.

Помимо индивидуального жилищного строительства, можно применять в качестве ограждающего материала многоэтажных зданий, в этом случае можно уменьшить несущую часть блока, что даст экономию при производ-

Таблица 1. Сравнительный анализ существующих конструкций многослойных стеновых блоков

Автор	Соединение слоев	Форма	Материал несущего слоя	Материал теплоизоляции	Декоративный слой	Армирование
Г.Г. Шаяхметов	Проникновением стержней	Пустотелый кирпич	Бетон или цементный раствор	–	Отсутствует	Нет
А.Г. Литвинов	Перевязка швов	Каркас с заполнением	Керамзитобетон	–	Отсутствует	Нет
Н.А. Сазонов	Перемычки из металлических пластин	Трехслойная конструкция	Бетон	Пенополистирол	Мокрый фасад	Нет
Д.А. Васенин	Пазы соединительные	Трапеция	Бетон	Пенополистирол	Мокрый фасад	Горизонтальное
А.Н. Пичугин	Адгезия	Многослойный блок	Пенобетон, газобетон, керамзитобетон	Пенополиуретан	Керамогранит, мрамор, клинкерная плитка	Нет
А.А. Балаев	Паз – гребень	Параллелепипед	Отсутствует	Пенополистирол	Гранитная или каменная крошка	Нет

стве. Также некоторые из представленных выше вариантов могут применяться в сейсмоопасных зонах.

На основании проведенного анализа становятся видны основные тенденции развития конструкций многослойных блоков. Перспективный разрабатываемый блок должен быть многослойным с эффективной теплоизоляцией, выраженным наружным отделочным слоем, иметь понятную систему соединения, обеспечивающую жесткость конструкции и иметь вариативность в применяемых материалах.

Отдельно стоят вопросы производственной и монтажной технологичности, стоимости и транспортировки.

В дальнейшем данный сравнительный анализ послужит базой для создания методики отработки на технологичность перспективных многослойных конструкций из штучных материалов.

Литература

1. Перечень инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 6.10.2021 года № 2816-р.

2. Кириченко, Д.Е. Проблемы долговечности зданий и сооружений / Д.Е. Кириченко, Т.В. Свинцова, Д.С. Подгорный, А.С. Чуриков // VI Международный студенческий строительный форум – 2021 : сборник докладов. В 2-х томах. Том 2. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 72–76.

3. Зильберова, И.Ю. Модернизация зданий с целью повышения энергоэффективности, комфорта и безопасности проживания, а также продления срока эксплуатации жилых зданий / И.Ю. Зильберова, Н.Н. Петрова // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4.

4. Карапетян, К.П. Эко-материалы в современном строительстве и архитектуре России: специфика и проблемы применения / К.П. Карапетян // Актуальные исследования. – 2024. – № 40(222). – Ч. I. – С. 75–95.

5. Зудилин, А.Ю. Исследование преимуществ и возможностей финской технологии строительства из теплоблоков: сравнительный анализ с традиционными методами строительства /

А.Ю. Зудилин // Актуальные исследования. – 2024. – № 3(185). – Ч. I. – С. 63–67.

6. Набокова, Я.С. Эффективные строительные материалы и способы возведения зданий / Я.С. Набокова // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4.

7. Богданов, В.Ф. Технико-экономическая эффективность многослойных наружных стен. Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции / В.Ф. Богданов, Д.Н. Тарасов, И.П. Федосеева, В.П. Чумаков. – Чебоксары : ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2016. – С. 343–348.

8. Firoozi, A.A. Innovations in Energy-Efficient Construction: Pioneering Sustainable Building Practices / A.A. Firoozi, D.O. Oyejobi, A.A. Firoozi // Cleaner Engineering and Technology. – 2025. – Vol. 26(2). – P. 1–23. – DOI: 10.1016/j.clet.2025.100957.

9. Norazman, N. Exploring the Factors Influencing Building Sustainability of Low-Cost Low-Rise Residential Towards User Satisfaction / N. Norazman, S.N.A. Mohd Nashruddin, A.I. Che-Ani // Journal of Facilities Management. – 2023. – Vol. 22(7/8). – DOI: 10.1108/JFM-08-2022-0089.

References

1. Perechen initsiativ sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federatsii do 2030 goda, utverzhdennij rasporyazheniem Pravitelstva Rossijskoj Federatsii ot 6.10. 2021 goda № 2816-r.

2. Kirichenko, D.E. Problemy dolgovechnosti zdanij i sooruzhenij / D.E. Kirichenko, T.V. Svintsova, D.S. Podgornij, A.S. CHurikov // VI Mezhdunarodnij studencheskij stroitelnij forum – 2021 : sbornik dokladov. V 2-kh tomakh. Tom 2. – Belgorod : Belgorodskij gosudarstvennij tekhnologicheskij universitet im. V.G. SHukhova, 2021. – S. 72–76.

3. Zilberova, I.YU. Modernizatsiya zdanij s tselyu povysheniya energoeffektivnosti, komforta i bezopasnosti prozhivaniya, a takzhe prodleniya sroka ekspluatatsii zhilykh zdanij / I.YU. Zilberova, N.N. Petrova // Inzhenernij vestnik Dona. – 2012. – № 4.

4. Karapetyan, K.P. Eko-materialy v sovremennom stroitelstve i arkhitekture Rossii: spetsifika i problemy primeneniya / K.P. Karapetyan // Aktualnye issledovaniya. – 2024. – № 40(222). – CH. I. – S. 75–95.

5. Zudilin, A.YU. Issledovanie preimushchestv i vozmozhnostej finskoj tekhnologii stroitelstva iz teploblokov: sravnitelnij analiz s traditsionnymi metodami stroitelstva / A.YU. Zudilin // Aktualnye issledovaniya. – 2024. – № 3(185). – CH. I. – S. 63–67.

6. Nabokova, YA.S. Effektivnye stroitelnye materialy i sposoby vozvedeniya zdanij / YA.S. Nabokova // Inzhenernij vestnik Dona. – 2012. – № 4.

7. Bogdanov, V.F. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost mnogoslojnykh naruzhnykh sten. Novoe v arkhitekture, proektirovanii stroitelnykh konstruktsij i rekonstruktsii / V.F. Bogdanov, D.N. Tarasov, I.P. Fedoseeva, V.P. CHumakov. – CHeboksary : CHGU im. I.N. Ulyanova, 2016. – S. 343–348.

© П.В. Гайдуков, О.В. Воронкова, 2026

УДК 72.01

АРХИТЕКТУРНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.А. АВЕРКИЕВ

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

Ключевые слова и фразы: высотное строительство; небоскребы; башни-близнецы; тренды формообразования небоскребов; имиджевые проекты; сверхтонкие небоскребы; лежачие небоскребы.

Аннотация: На конкретных примерах в статье рассмотрены основные направления, задающие тренд в композиционном формировании объектов высотного строительства: строительство башен-близнецов по аналогии с *WTC* в Нью-Йорке архитектора Минору Ямасаки; устройство переходов – смотровых площадок по аналогии с Петронас Тауэр в Куала Лумпуре архитектора Сезара Пелли; «небоскребы-бублики» по образцу офисного здания в китайском Гуанчжоу; спиралевидные башни по аналогии с башней Торсо архитектора Сантьяго Калатравы; башни нестандарных форм на примере застройки Дохи, столицы Катара; появление сверхтонких небоскребов Нью-Йорка (башни Стейнуэй и 432 Парк Авеню) и возведение башен с так называемыми лежачими небоскребами на примерах творчества архитектора Моше Сафди (Отель Марина Бей Сандс Сингапур).

Цели исследования: выявить основные тренды формообразования высотных зданий.

Задачи исследования: провести анализ современного высотного строительства; определить тренды формообразования как дополнительный фактор в развитии стилевого решения высотного объекта.

Гипотеза исследования предполагает, что кроме определенной стилевой направленности (хайтек, постмодерн, деконструктивизм и др.) на архитектурное решение высотного здания также влияют факторы модных течений (трендов) в формообразовании подобных объектов (башни-близнецы, супертонкие, овальной формы, дома-бублики и др.).

Методы исследования: сбор и изучение литературных источников; использование информации из сети интернет; непосредственное ознакомление и посещение автором статьи объектов, указанных в статье.

Достигнутые результаты подтверждают, что архитектурное решение высотного объекта, кроме его решения в определенном стиле, также зависит от трендов данного времени в формообразовании подобных объектов. Наиболее тиражируемые и повторяющиеся – это башни-близнецы по примеру нью-йоркского *WTC*, которые возведены во многих городах мира.

Высотное строительство во многом определяет облик современных городов. Первые здания повышенной этажности появились в силу развития научно-технического прогресса, новых технологий в строительстве и в складывающихся экономических ситуациях. Цены на земельные участки способствовали появлению первых многоэтажных зданий. Применение металлического каркаса как основной несущей системы фактически становится основной причиной бурного освоения повышенной этажности, которая все более прогрессирует во времени. Мечты архитекторов о километровой высоте уже в стадии реализации.

При всей своей неоднозначной трактовке устремления ввысь высотное строительство в мире продолжает набирать обороты. Наиболее востребованные здания высотой от 100 до 200 метров и их количество постоянно увеличивается [4]. В примере Манхэттена или Гонконга сказывается нехватка земли и стоимость участков. Причем, в условиях Нью-Йорка, парадок-



Рис. 1. Небоскребы центра Чикаго и окраины



Рис. 2. Высотная застройка Москва-Сити

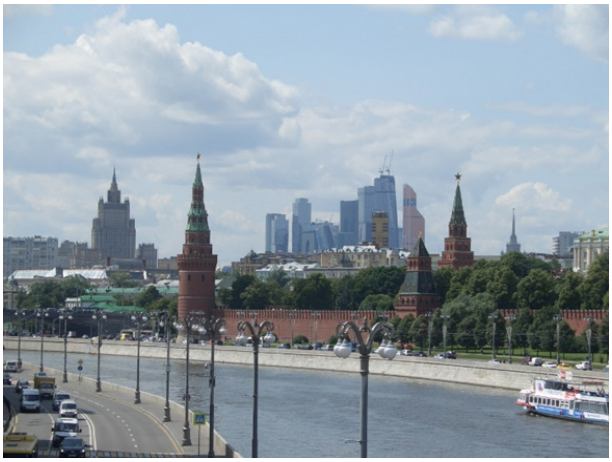


Рис. 3. Москва во все времена стремилась ввысь

сально смотрится Манхэттен в границах Гудзона и Ист-Ривер, когда противоположные берега Манхэттена резко становятся одно- и двухэтажной Америкой. Такая же ситуация наблюдается в Чикаго: резкая граница центральной части города и малоэтажных окраин (рис. 1).

Подобные проблемы все же не являются типичными для многих городов мира, кроме двух названных, это более характерно для густонаселенных азиатских мегаполисов. Для большинства крупных городов тенденции высотного строительства скорее связаны с престижностью, демонстрацией возможностей имиджевого решения.

В качестве примера можно привести парижский Дефанс,сюда можно добавить московский Сити (рис. 2), которые имеют групповую застройку высотными зданиями [3]. Хотя, как показано на рис. 3, Москва во все времена стремилась ввысь. И с этой точки зрения высотное строительство представляет определенный интерес, даже архитектурную моду, соответствующую определенному периоду.

Нью-Йоркские Крайслер Билдинг и Эмпайр Стейт Билдинг – это иконы стиля артнуво, которые изначально боролись за рекорды



Рис. 4. Башни-близнецы Всемирного торгового центра (*WTC*) в Нью-Йорке

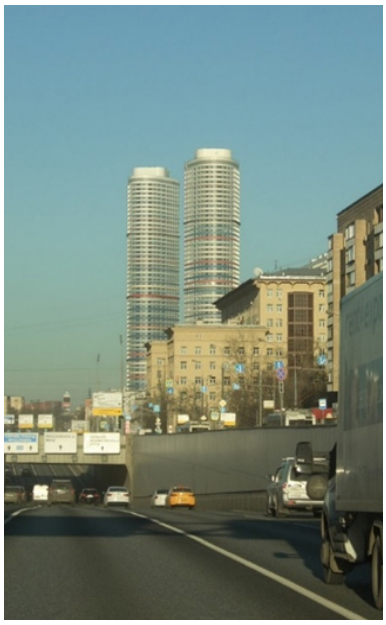


Рис. 5. Московские близнецы. ЖК «Триколор» на проспекте Мира



Рис. 6. Петронас Тауэр в Куала Лумпуре

высоты в 319 и 381 метр соответственно [1; 5]. Первые башни-близнецы Марина-Сити в Чикаго сыграли собственную определенную роль в высотном строительстве. А вот более поздние близнецы архитектора Минору Ямасаки, 110-этажные башни Всемирного торгового центра (*WTC*) [5], породили просто бум строительства пары близнецов (рис. 4). Они строились в различной архитектурной трактовке, но именно два одинаковых здания появились во многих городах мира (рис. 5).

Следующим моментом и модной деталью при строительстве башен-близнецов являются соединительные мостики, такие как в башнях Петронас Тауэр в Куала-Лумпуре (архитектор Сезар Пелли). В самих небоскребах заложены идеи малазийских орнаментов, а соединительный мостик выполнен на уровне 41–42 этажей (рис. 6) [1]. Используется как смотровая площадка. Два офисных здания, соединенные мостом, есть и в Москве на Ленинградском проспекте, 39. Также подобное решение встре-



Рис. 7. Офисное здание-«бублик» в Гуанчжоу (Китай)

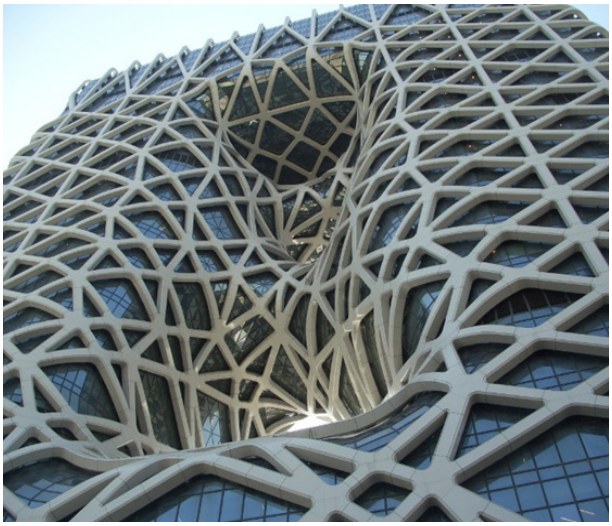


Рис. 8. Отель «Морфеус» в Макао



Рис. 9. Спиралевидная башня Эволюция и башня Империя в Москва-Сити



Рис. 10. Башня Мердека 118 в Куала Лумпуре

чается и в других городах мира.

Мысль о соединении двух зданий породило следующую тенденцию зданий – «бубликов». От откровенно круглых, как например в китайском Гуанчжоу (рис. 7), до более строгих, как например, проектирующийся небоскреб в Москва-Сити, или тот же отель Морфеус Захи Хадид в Макао (рис. 8). Подобные здания есть в Баку и в некоторых китайских городах.

Еще одна тенденция – это небоскребы-спирали. В Москве представлена башней Эволюция в Москве-Сити, которая имеет поворот в 156 градусов (рис. 9) [1]. Прародителем тенденции стал Сантьяго Калатрава с башней Торсо в Мальме (Швеция).

Следующая тенденция в строительстве небоскребов – это преобладание неправильных форм. Пошла целая волна отказов от традици-



Рис. 11. Набережная Аль-Корниш стрит в Дохе (Катар)



Рис. 12. Сверхтонкие небоскребы Нью-Йорка у Центрального парка

онных параллелепипедов, и многие высотные здания имеют чрезвычайно вычурную форму, как например, Мердека 118 в Куала-Лумпуре (рис. 10) или башня Империя в Москва-Сити (рис. 9), или застройка набережной в столице Катара Дохе (рис. 11) и многие другие.

Уместно отметить, что в силу особенностей развития отечественной архитектуры период строительства небоскребов в стиле Миса ван дер Роэ в СССР был пропущен. Москва ворвалась в мир повышенной этажности именно в период необычных форм подобных зданий. Вероятно, поэтому формы зданий в Москва-Сити не так традиционны.

Современная тенденция строительства высотных зданий снова возвращает архитекторов к простым геометрическим формам параллелепипедов, прямоугольников, квадратов, но с особенностью возведения – они становятся сверхтонкими.

Нечто подобное уже существовало в Гонконге, но современные достижения инженерии и технологий превозносят это решение на совершенно иной уровень. Это совершенно имиджевые проекты, направленные на демонстрацию всего самого передового. Уже несколь-



Рис. 13. Отель Марина Бей Сандс в Сингапуре



Рис. 14. Здание с лежачим небоскребом в Абу Даби (ОАЭ)

ко подобных объектов возведены в Нью-Йорке (рис. 12), есть подобные в Дубае.

Примером может служить *Steinway Tower* высотой 435 метров, 82 этажа и соотношением высоты к ширине 24:1 [6]. Так как площадь этажа невелика, в подобных зданиях нет смысла развивать в этом пространстве офисы, все эти здания имеют жилую функцию.

Как правило, одна квартира на этаже (или в нескольких уровнях) с панорамными видами на все стороны.

По этим характеристикам это чрезвычайно престижное и комфортное жилье для обеспеченных жильцов с видом на Центральный парк Нью-Йорка.

В отечественной практике к этой тенденции можно отнести жилые небоскребы Капитал Тауэрс бюро Сергея Скуратова на Краснопресненской набережной. Они не так экстравагантны, как небоскребы-карандаши Нью-Йорка, но определенная доля изящности и лаконизма в них присутствует.

Еще одно новомодное направление в строительстве высотных зданий – это возведение так называемых лежачих небоскребов.

Впервые идею предложил и реализовал архитектор Моше Сафди в сингапурском отеле Марина Бей Сандс (рис. 13).

На трех башнях расположена горизонтальная конструкция с самым различным функциональным назначением.

Но главная из них – открытый бассейн, где можно подплыть к бортику бассейна и любоваться панорамой города почти с 60-этажной высоты.

Свою задумку Моше Сафди, еще в более масштабном решении, повторил в китайском Чунцине в комплексе Раффлс Сити [2].

Дальнейшего продвижения идеи долго ждать не пришлось. В подобном ключе решен объект в Абу-Даби, столице Эмиратов (рис. 14).

И, очевидно, появление подобных зданий в других городах мира – дело времени.

Современное высотное строительство является одним из уникальных направлений в строительном секторе.

Несмотря на неоднозначное отношение к зданиям повышенной этажности, это направление активно развивается.

Этому способствуют значительный прогресс в строительных технологиях, создании новых строительных материалов, новых открытий в науке.

Дороговизна земельных участков не является основным фактором возведения небоскребов.

Имиджевая составляющая становится преобладающей для демонстрации достижений того или иного города и страны в целом.

Архитектурные, конструктивные и инженерные решения современного периода позволяют существенно расширить и изменить традиционное решение объекта, эта тенденция становится преобладающей.

Трудно предположить пути дальнейшего развития высотного строительства, но уже сейчас имеются небоскребы с обилием зеленых насаждений, архитекторы мечтают о кинетических, динамичных, изменяющихся фасадах и все больше устремляются ввысь.

Литература

1. Веселова, Е.А. Конструктивные системы жилых высотных зданий / Е.А. Веселова, С.В. Комшин. – Нижний Новгород, 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/architecture/876881.pdf.

2. Десять самых масштабных проектов архитектора Моше Сафди [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://vk.com/@-211174733-desyat-samyh-masshtabnyh-proektov-arhitektora-moshe-safdi.

3. Магай А.А. Архитектурно-композиционное решение высотных зданий / А.А. Магай [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturno-kompozitsionnye-osobennosti-vysotnyh-zdaniy.

4. Маклакова, Т.Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования / Т.Г. Маклакова. – М. : АСВ, 2008. – 160 с.

5. Небоскребы: архитектура превосходства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.interior.ru/architecture/2331-neboskreby-arkhitektura-prevoskhodstva.html.

6. Steinway Tower в Нью-Йорке – самый тонкий небоскреб в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://dzen.ru/a/aRl1L5mXjixmkZo1.

References

1. Veselova, E.A. Konstruktivnye sistemy zhilykh vysotnykh zdanij / E.A. Veselova, S.V. Komshin. – Nizhnij Novgorod, 2022 [Electronic resource]. – Access mode : https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/architecture/876881.pdf.

2. Desyat samykh masshtabnykh proektov arkhitektora Moshe Safdi [Electronic resource]. – Access mode : https://vk.com/@-211174733-desyat-samyh-masshtabnyh-proektov-arhitektora-moshe-safdi.

3. Magaj A.A. Arkhitekturno-kompozitsionnoe reshenie vysotnykh zdanij / A.A. Magaj [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturno-kompozitsionnye-osobennosti-vysotnyh-zdaniy.

4. Maklakova, T.G. Vysotnye zdaniya. Gradostroitelnye i arkhitekturno-konstruktivnye problemy proektirovaniya / T.G. Maklakova. – M. : ASV, 2008. – 160 s.

5. Neboskreby: arkhitektura prevoskhodstva [Electronic resource]. – Access mode : https://www.interior.ru/architecture/2331-neboskreby-arkhitektura-prevoskhodstva.html.

6. Steinway Tower v Nyu-Jorke – samij tonkij neboskreb v mire [Electronic resource]. – Access mode : https://dzen.ru/a/aRl1L5mXjixmkZo1.

© В.А. Аверкиев, 2026

УДК 72.036

ГИПЕРБОЛИЧЕСКАЯ ФОРМА ПОКРЫТИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ЦИРКОВ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

Т.В. ШАМАЕВА, Н.С. ПОДКОЛЗИНА

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

Ключевые слова и фразы: архитектурный облик; гиперболический параболоид; зрелищное здание; модель цирка; развитие стационарного цирка.

Аннотация: Статья посвящена исследованию подтипа экспериментальной архитектуры советского периода шестидесятых годов, когда на смену классическому облику архитектуры пришел футуризм.

Целью исследования стал анализ влияния гиперболической формы на архитектурный облик здания Самарского цирка и купольную систему.

Задачи исследования: рассмотреть типовой проект Самарского цирка данного советского периода; в процессе исследования выявить основные характеристики архитектурного облика, конструктивные аспекты и особенности планировочных решений.

Гипотеза исследования: применение гиперболической оболочки в отечественной архитектуре на примере Самарского цирка отражает архитектурно-художественный прием, который создает уникальное инженерно-конструктивное решение. Предполагается, что данная конструкция обеспечивает: эффективную работу несущей основы, функциональную организацию внутреннего пространства.

Методы исследования: осуществлен поэтапный разбор исторического возникновения седловидной гиперболической оболочки в разных вариантах; изучен генезис советской архитектуры; проведен детальный анализ влияния гиперболической формы на архитектурный облик цирка; рассмотрена работа конструктивной системы купола цирка и планировочной системы здания благодаря фотофиксации.

Результаты исследования показывают, что архитекторы двадцатого века активно использовали экспериментальные решения для создания нестандартных форм зданий, которые показали применение архитектурного разнообразия силуэта зрелищных зданий, и на примере Самарского цирка доказана работа и надежность применения гиперболических конструкций.

Введение

Необходимость применения гиперболической формы к одному из типовых проектов стационарных цирков вместо классического сферического купола была основана на решениях новых экспериментальных способов выразительности архитектурного силуэта культурно-зрелищных зданий в период советского модернизма.

Проведено исследование с описанием возникновения первопричин применения гиперболических оболочек и дальнейшей реализации на практике, в том числе, для зданий цирков.

Историческая справка

Точка отсчета

Первым, кто ввел в архитектуру систему гиперболических оболочек и запатентовал в 1899 г. новейшие конструкции, в том числе, конструкции покрытий, был Владимир Григо-

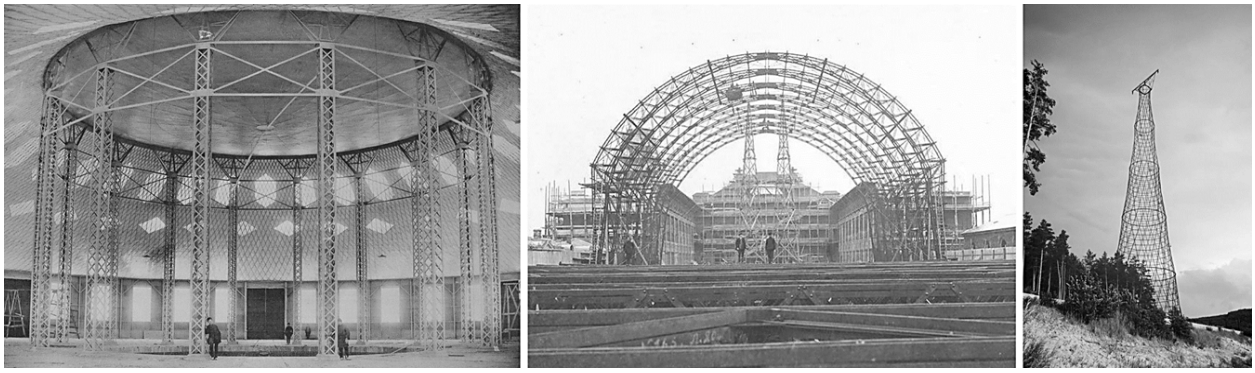


Рис. 1. Примеры оболочек. Слева направо: ротонда Шухова, 1896 г.; своды Киевского вокзала, 1918 г.; Шуховская башня на Оке, 1929 г.

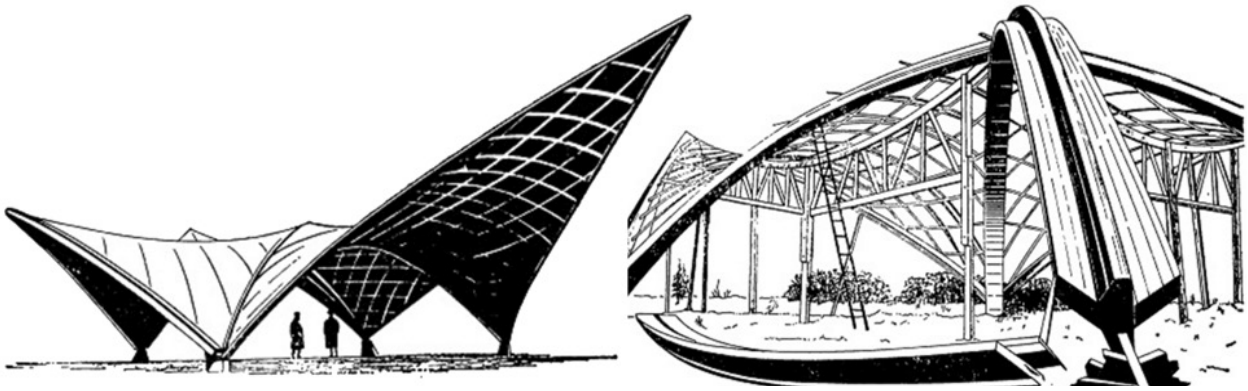


Рис. 2. Пример принципа работы гиперболической оболочки (Павильон на строительной выставке в городе Мюнхен): общий вид и процесс монтажа

рьевич Шухов [1].

Реализация его смелых идей привела к новым типам конструкций-оболочек:

1) «висячие» покрытия;
2) «выпуклые» покрытия;
3) башни-оболочки.

Реализованные примеры показаны на рис. 1 [2].

Создание уникальной конструктивной системы было не случайно. Конец XIX в. характеризуется временем новых открытий и задач, которые обосновывали и помогали создавать как экономически выгодные, так и неординарные по своей форме облегченные, светопрозрачные сооружения и легко возводимые конструкции.

Основной принцип работы гиперболических оболочек заключается в использовании балок, которые пересекаются между собой и образуют криволинейную форму в виде гиперболы [3]. Монтаж данного вида конструкции можно рассмотреть на рис. 2.

Разновидность гиперболических форм

В течение шестидесяти лет большинство архитектурных объектов с формой гипар выполнены из металлического каркаса.

Основоположником, который смог вывести гипарную систему на новый уровень, стал испанский, мексиканский архитектор Феликс Кандела Оутериньо. В 1950 г. он впервые использовал железобетон и встроил материал в гипарную систему. Первый проект архитектора с использованием железобетона стал «Павильон космических лучей» (рис. 3). Кровля здания имеет толщину от 1,6 до 5 сантиметров [4]. Форма павильона не похожа на проекты В.Г. Шухова, в ней отчетливо выражена седловидная оболочка, которую в дальнейшем использовали в проекте Самарского цирка.

Благодаря активному использованию Феликсом Кандела различных видов оболочек на сегодняшний день нам хорошо известны покрытия в виде одиночных гипар, комбинации

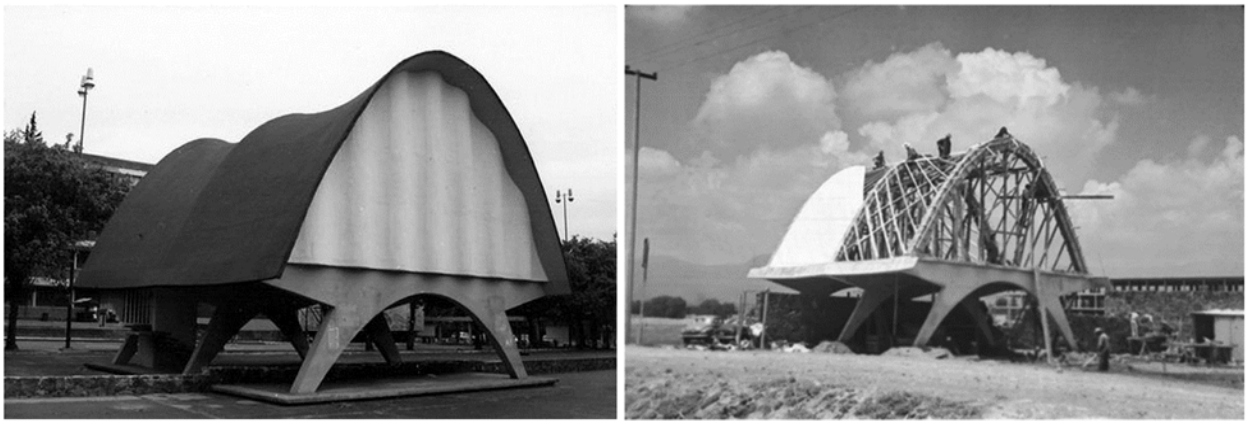


Рис. 3. Павильон космических лучей, арх. К.А. Феликс, 1951 г.:
общий вид здания и процесс строительства

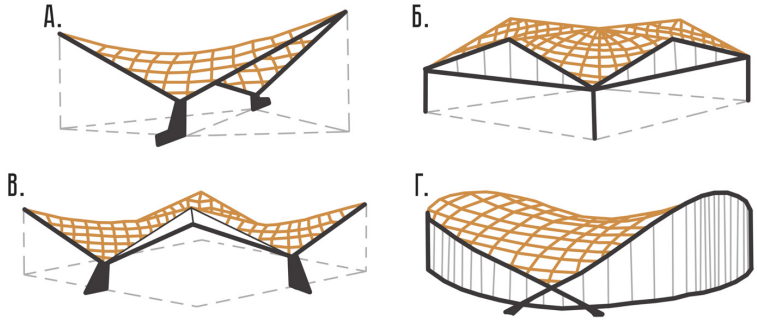


Рис. 4. Виды гиперболических оболочек:
а) одиночная; б) комбинированная из нескольких одиночных;
в) комбинированная из нескольких одиночных;
г) седловидная оболочка



Рис. 5. Портрет Саломеи Максимовны Гельфер

гипар и седловидной формы покрытия (рис. 4).

Первые в советском пространстве

Помимо изучения культурно-зрелищных зданий стационарного назначения с большепролетными покрытиями, необходимо уделить особое внимание советским и российским проектировщикам, начавшим использовать метод гипарных оболочек. Одним из основателей данного применения в советском периоде стала Саломея Гельфер – заслуженный архитектор РСФСР (рис. 5).

Саломея Максимовна Гельфер родилась 27 декабря 1916 г. при Российской Империи, и уже с шестнадцати лет получала первое профессиональное образование в техникуме Московского архитектурного института и параллельно начала свою архитектурную деятельность. В 1932 г. стала автором реализованного жилого многоквартирного дома на Тверской-Ямской улице [5].

Основная творчески активная работа С.М. Гельфер проходила в архитектурной мастерской «Гипротеатр», где были созданы одни из интересных и значимых проектов для нашей страны, такие как Областной драматический театр на 800 мест в городе Луганск (рис. 6), типовой проект стационарного цирка во Владивостоке (рис. 6) [6; 7].



Рис. 6. Реализованные проекты С.М. Гельфер: а) Областной драматический театр в г. Луганск (1939 г.); б) Стационарный цирк в г. Владивосток (1973 г.)

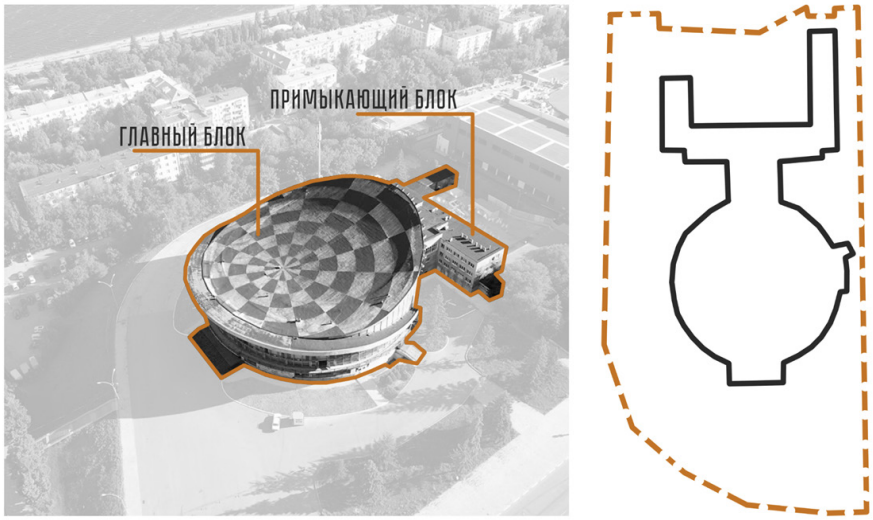


Рис. 7. Объем и схема плана Самарского цирка

Реализация

В 1960-е гг. в соавторстве с архитектором Георгием Васильевичем Наприенко был разработан экспериментальный проект Стационарного цирка с гиперболической кровлей, который впоследствии стал типовым проектом для одиннадцати зданий цирков (рис. 7) [8]. Первым цирком, где архитекторы применили универсальные чертежи, стал стационарный цирк во Владивостоке.

Основными задачами авторов при проектировании уникального для того времени здания стали следующие критерии: простота формы, целостность, узнаваемость. Предположим, что задумка оставить излишний декор неслучайна и была компенсирована выбором необычного архитектурного силуэта.

Шестидесятые годы XX в. в истории отечественной архитектуры стали временем проявления советского модернизма, где обязательными были большие пространства, открытый и чистый контур здания с применением актуальных материалов, таких как железобетон.

Стационарный Самарский цирк является вторым реализованным типовым проектом, он вмещает 2185 зрительских мест. Здание разделено на две части: доминанта – цилиндрической формы (главный блок) и второстепенный блок прямоугольной, вытянутой формы, который выполняет функцию общежития для артистов, администрации, обслуживание. Два блока соединяются проходным коридором. На рис. 7 представлена существующая ситуация и граница участка.

Основная форма здания получилась целостной благодаря седловидной оболочке. Можно выделить три этапа в формообразовании:

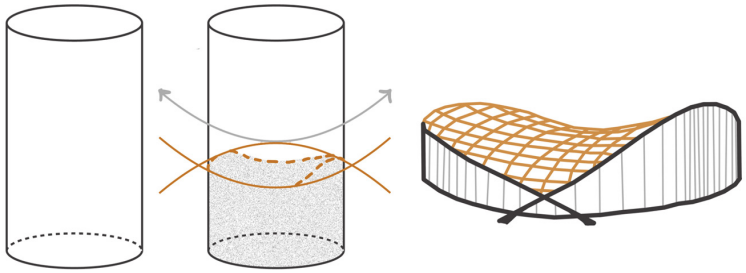


Рис. 8. Формообразование главного блока



Рис. 9. Процесс строительства арены Ралей

1) выбор формы – цилиндрическая;

2) образование формы – по криволинейной гиперболе создан силуэт, повторяющий вариацию седла и «обрезали лишнее»;

3) результат – получили законченный существующий вариант (рис. 8).

Получившаяся форма и покрытие притягивают внимание и взгляд посетителей и прохожих, становится ясно, что любые детали будут излишними. С учетом функции здания зрелищного типа, а также большой входной зоны и вестибюльной зоны, для цирков в СССР во многих проектах в нижней части здания проходило сплошное остекление, которое позволяло решать несколько главных задач:

1) визуально облегчить нижнюю часть и сделать «невесомым» фасад здания;

2) естественным светом осветить большое внутреннее пространство – вестибюль по периметру здания.

Причина выбора и основные черты

Предположим, что С.М. Гельфер и Г.В. Наприенко выбрали форму и материал конструкции для зданий седловидной формы из-за удобства многофункциональности самой арены и общего пространства, но, помимо решения проблемы функциональности, необходимо понять, как они смогли классическую форму купола вписать в зону манежа и смонтировать колосниковую решетку.

Изначально Самарский цирк и другие цирки с аналогичным покрытием повторяли систему висячих покрытий облеченного типа. На примере стадиона Ралей в США используется двойная кривизна, покрытие опирается на несущие железобетонные арки под углом на 22° от земли. Сама висячая конструкция была облегчена металлическими балками с отделкой стальным листом (рис. 9) [9].

На рис. 9 видно, что покрытие двойной кривизны и опирание происходит по жесткому контуру, но, если взглянуть на внешний облик цирка в первый раз, покажется, что несущая способность проходит по изогнутой арке, которая в действительности только выражает законченный силуэт главного фасада (рис. 10, 11).

Ниже представлены схемы двух висячих конструкций оболочек с разными опорами (рис. 12), где первый вариант подходит для арены, а второй для стационарного цирка.

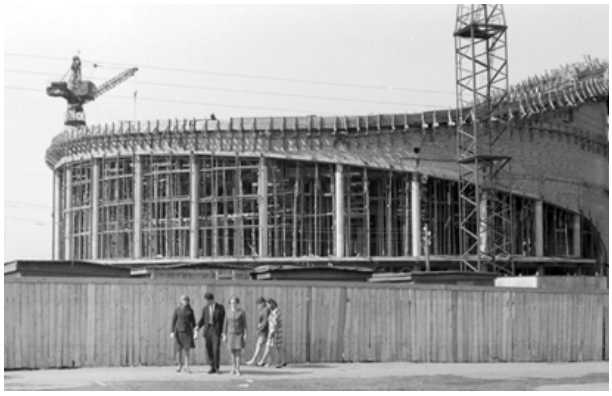


Рис. 10. Процесс строительства Самарского цирка



Рис. 11. Самарский цирк в наше время

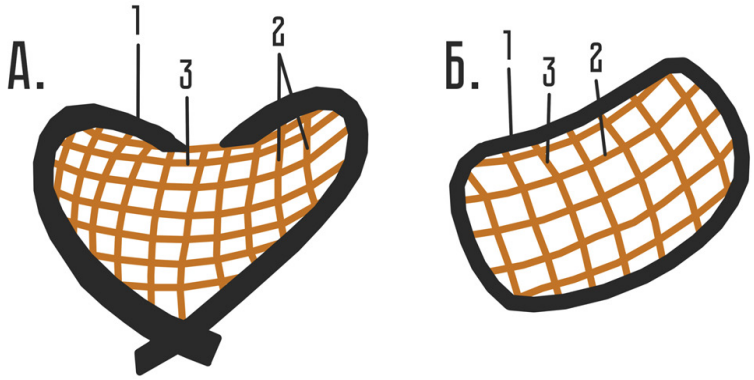


Рис. 12. Варианты висячего напряженного покрытия:
а) опирание по аркам; б) опирание по жесткому контору;
1) жесткий опорный контур; 2) несущие тросы; 3) стабилизирующие тросы

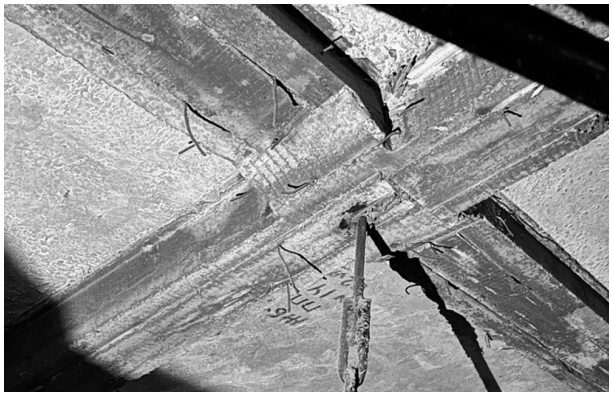


Рис. 13. Вид кровли изнутри самарского цирка



Рис. 14. Общий вид на крепление колосниковой решетки в кровле

С внешней частью купола ситуация ясна, но остается вопрос, как архитекторы решили проблему монтажа колосниковой решетки. На рис. 13 видно, как изнутри выглядит конструктивная составляющая кровли, на которой были применены не металлические составные части несущих и стабилизирующих тросов, а деревянные, и сверху которых как «одеяло» ложить-

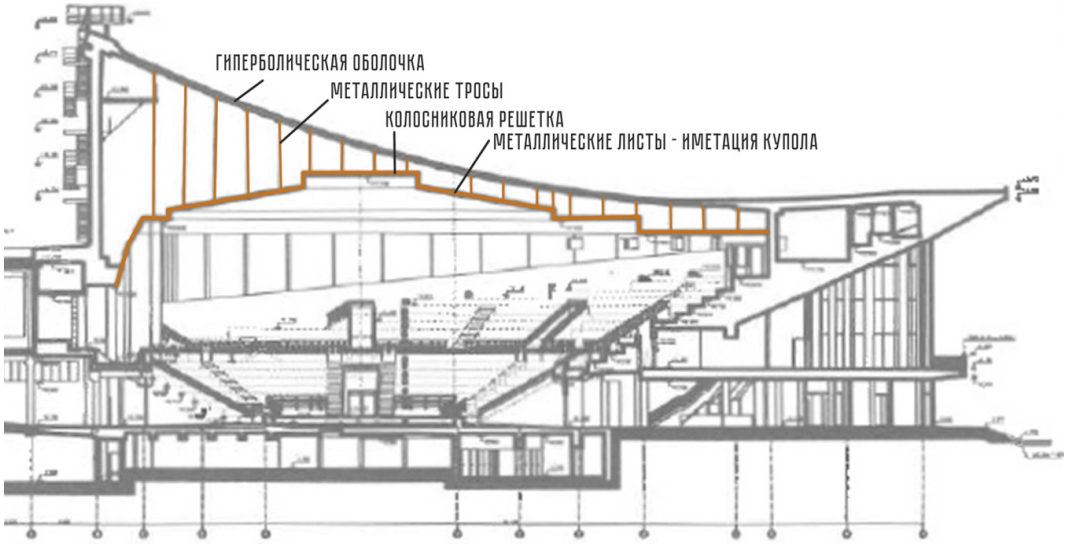


Рис. 15. Схема разреза цирка



Рис. 16. Общий вид на купол и колосниковую решетку

ся бетон.

Решение монтажа колосниковой решетки и придания имитации изнутри классического парящего купола, который облегчен металлическим листом, было выполнено благодаря тросовой системе, что наглядно представлено на рис. 14.

Силуэт внутреннего купола можно рассмотреть на разрезе здания и на фото в настоящее время на рис. 15 и 16.

Кроме основных конструктивных проблем, которые были решены простыми методами, необходимо учесть еще одно конструктивное решение в отношении естественных осадков, которые с данным контуром кровли, на первый взгляд вода или талый снег, должны были стекать на главный вход здания, но, к счастью, ответ на такую проблему также был найден. Ранее при описании конструкции оболочки кровли была упомянута арка, которую могли перепутать с несущей, но на самом деле данный элемент здания несет в себе две основные функции:

1) придает визуальную законченность главному фасаду;

2) по ней осуществляется отвод осадков. Практическое применение арки можно наблюдать на рис. 17.

Данное решение – отличный пример того, как каждый элемент архитектурной части зда-

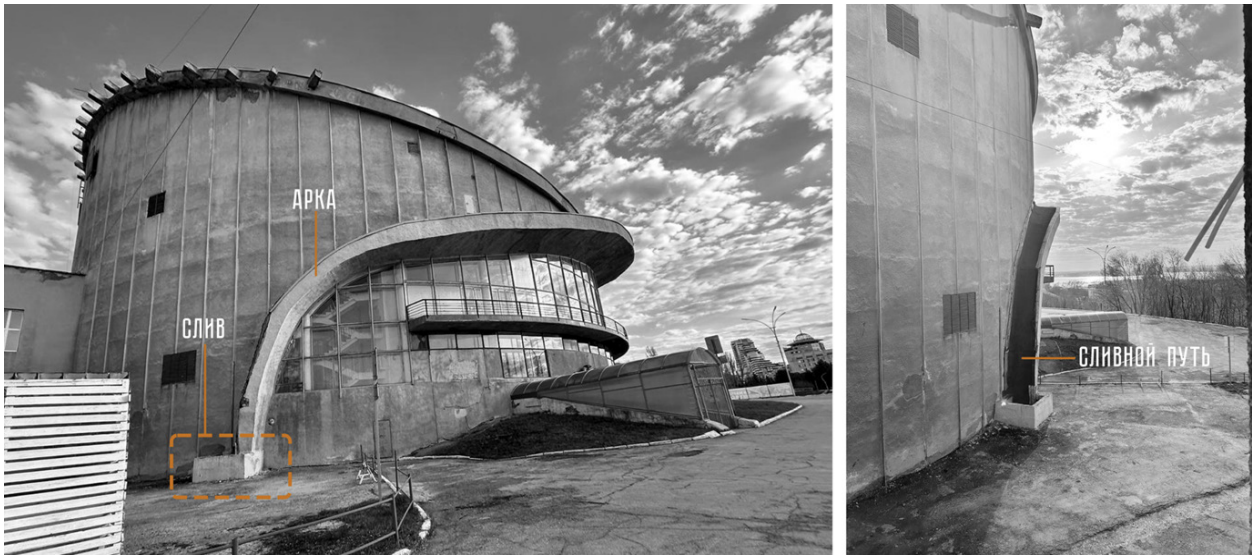


Рис. 17. Общий вид на сливной путь с кровли

ния, кроме внешней композиционной завершенности, используется для пользы в бытовых ситуациях.

В заключение хотелось бы отметить следующее. К сожалению, в современной архитектуре России использование седловидных оболочек наблюдается все реже [10], но за рубежом активно изучается вопрос архитектурно-конструктивного обоснования мембранных, бетонных оболочек. Одним из примеров служит магистерская диссертация из Ангальтского университета прикладных наук, факультета архитектуры, где магистр Педро Р. Муньос защищал в 2018 г. собственный проект и расчеты по использованию с реальными примерами [11].

В процессе исследования проведен анализ использования седловидной оболочки на примере Самарского цирка, который до сих пор функционирует и доказывает, что купол в виде криволинейной параболы смотрится актуально и свежо до сих пор, где общая форма влияет на акцентное доминирование в городской среде.

Статья демонстрирует следующие результаты:

- осуществлен поэтапный разбор исторического возникновения седловидной гиперболической оболочки и работы конструкции в разных вариантах;
- изучен генезис советской архитектуры;
- проведен детальный анализ влияния гиперболической формы на архитектурный облик Самарского цирка;
- детально рассмотрена работа конструктивной системы купола цирка и планировочная система здания.

Данный пример с седловидной оболочкой для большепролетного покрытия наглядно подтверждает свою способность прочности конструкции купола, которая не деформировалась и возможна в применении как одно из интересных и простых решений в большепролетных зданиях зрелищного типа.

Литература

1. Борисов М. Гиперболоид Владимира Шухова: Красота сборки, негодный металл и условный расстрел / М. Борисов // Троицкий вариант. – 2023. – № 6(374). – С. 10.

2. Самохвалов, И.А. Гиперболические сетчатые башни В.Г. Шухова / И.А. Самохвалов, Н.Ю. Трянина // Студенческий научный форум : VII международная студенческая научная конференция, 2015.

3. Бойченко, М.Б. Гиперболоидные конструкции / М.Б. Бойченко, О.А. Зевакина, К.В. Гулых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 7-2. – С. 153–155.

4. Rajabzadeh, S. / Photogrammetry, HBIM, and Damage Analysis of Cosmic Rays Pavilion for Raising Awareness to its Cultural Heritage / S. Rajabzadeh, M. Esponda, L. Cordero Espinosa //

The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences : 28th CIPA Symposium “Great Learning & Digital Emotion”, Beijing, China. – 2021. – Vol. XLVI-M-1-2021. – P. 601–608.

5. Интерфейс // Российская архитектура [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://archi.ru/events/760/yubileinaya-vystavka-arhitektora-salomei-gelfer.

6. Быков, Д. Типовая советская архитектура. Зрелищные учреждения / Д. Быков, О.В. Мокряк ; Школа дизайна факультета коммуникаций, медиа и дизайна НИУ ВШЭ, 2021. – С. 70.

7. Интерфейс // Сталинка. Архив советских типовых проектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://stalinka.studio-petukh.ru/article?name=2-06-40_giproteatr.

8. Подколзина, Н.С. Исследование архитектурного развития облика стационарного цирка советского периода / Н.С. Подколзина / Инновации и инвестиции. – 2025. – № 5. – С. 802–805.

9. Филиппова, М.А. Седловидные покрытия стадионов / М.А. Филиппова // Студенческий научный форум : VI международная студенческая научная конференция, 2014.

10. Александров, С.Е. Проблемы проектирования зданий и сооружений с применением сетчатых оболочек / С.Е. Александров // Современные научные исследования и инновации. – 2018. – № 12.

11. Munoz, P.R. Architectural and Engineering Study of Thin Concrete Membrane Shells. Review of past practices to revive shells into new, innovative, sustainable, and resilient architectural engineering forms / P.R. Munoz // Master-Thesis, Anhalt University of Applied Sciences Faculty of Architecture, Facility Management and Geo Information, 2018. – P. 1–230.

References

1. Borisov M. Giperboloid Vladimira SHukhova: Krasota sborki, negodnij metall i uslovnij rasstrel / M. Borisov // Troitskij variant. – 2023. – № 6(374). – S. 10.

2. Samokhvalov, I.A. Giperbolicheskie setchatye bashni V.G. SHukhova / I.A. Samokhvalov, N.YU. Tryanina // Studencheskij nauchnij forum : VII mezhdunarodnaya studencheskaya nauchnaya konferentsiya, 2015.

3. Bojchenko, M.B. Giperboloidnye konstruktsii / M.B. Bojchenko, O.A. Zevakina, K.V. Gulykh // Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. – 2016. – № 7-2. – S. 153–155.

5. Interfejs // Rossijskaya arkhitektura [Electronic resource]. – Access mode : https://archi.ru/events/760/yubileinaya-vystavka-arhitektora-salomei-gelfer.

6. Bykov, D. Tipovaya sovetskaya arkhitektura. Zrelishchnye uchrezhdeniya / D. Bykov, O.V. Mokryak ; SHkola dizajna fakulteta kommunikatsij, media i dizajna NIU VSHE, 2021. – S. 70.

7. Interfejs // Stalinka. Arkhiv sovetskikh tipovykh proektov [Electronic resource]. – Access mode : https://stalinka.studio-petukh.ru/article?name=2-06-40_giproteatr.

8. Podkolzina, N.S. Issledovanie arkhitekturnogo razvitiya oblika statsionarnogo tsirka sovetskogo perioda / N.S. Podkolzina / Innovatsii i investitsii. – 2025. – № 5. – S. 802–805.

9. Filippova, M.A. Sedlovidnye pokrytiya stadionov / M.A. Filippova // Studencheskij nauchnij forum : VI mezhdunarodnaya studencheskaya nauchnaya konferentsiya, 2014.

10. Aleksandrov, S.E. Problemy proektirovaniya zdanij i sooruzhenij s primeneniem setchatykh obolochek / S.E. Aleksandrov // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii. – 2018. – № 12.

© Т.В. Шамаева, Н.С. Подколзина, 2026

УДК 69.05; 624.05

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МОНТАЖА ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

М.Х. АБАС, П.П. ОЛЕЙНИК

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

Ключевые слова и фразы: высотные здания; инженерные системы; продолжительность строительства; множественная регрессия; искусственные нейронные сети; прогнозирование.

Аннотация: Современное строительство высотных зданий характеризуется высокой сложностью инженерных систем, обеспечивающих их надежное и энергоэффективное функционирование. Одним из ключевых вопросов является прогнозирование продолжительности монтажных работ с учетом влияния технических, организационных, административных и внешних факторов. Традиционные методы анализа и планирования часто недостаточны для выявления скрытых зависимостей и нелинейных взаимосвязей. Целью исследования является разработка и апробация подхода, позволяющего прогнозировать продолжительность монтажа инженерных систем высотных зданий с учетом влияния негативных факторов. В работе предложена интеграция регрессионной модели, оценивающей количественное влияние факторов, с помощью искусственных нейронных сетей, что позволяет точнее прогнозировать сроки монтажа, выявлять критические факторы риска и формировать управленческие решения, учитывающие возможные задержки.

Введение

На этапе планирования и разработки проектной документации любого объекта важно определить расчетную продолжительность строительства, которая зависит от множества факторов, в том числе, возникающих на этапе монтажа инженерных систем факторов. Их выявление на ранних стадиях проекта позволяет существенно снизить их влияние и минимизировать вероятность возникновения задержек, а в некоторых случаях – полностью их исключить [1].

Так как фактическая продолжительность проекта становится известной только после его завершения и зависит от множества отклонений, таких как изменения распоряжений, трудовые конфликты, нехватка материалов и другие непредвиденные обстоятельства, то знание ожидаемой задержки на ранних этапах важно при оценке заявок от поставщиков, корректировке графиков поставок и распределении ресурсов, а также для расчета затрат заказчика, связанных с задержками и обеспечением безопасности проекта [2].

Материалы и методы

Для оценки влияния факторов на продолжительность работ применялся метод экспертных оценок, позволяющий количественно определить значимость каждого фактора [3]. Для построения модели влияния факторов использовался регрессионный анализ, который позволял оценить индивидуальное и совокупное воздействие факторов на продолжительность проекта.

Результаты исследования

В рамках исследования разработана модель количественной оценки влияния негативных факторов на продолжительность монтажа инженерных систем. Модель направлена на уста-

Таблица 1. Анализ факторов, влияющих на продолжительность монтажа инженерных систем

№	Фактор	Средняя оценка	Вес, %	Количественная оценка
*F*1	Задержка в проверке и утверждении выполненных работ	5	5,7	1,36
*F*2	Несвоевременный контроль соблюдения графика производства работ подрядчиками	5	5,7	1,36
*F*3	Недостаточный контроль качества выполнения монтажных работ	5	5,7	1,36
*F*4	Недостаточный контроль соблюдения технологии производства работ	4	4,5	1,09
*F*5	Нарушения во взаимоувязке сроков и последовательности монтажа инженерных систем	5	5,7	1,36
*F*6	Несвоевременный контроль устранения дефектов монтажа	3	3,4	0,82
*F*7	Задержка утверждения рабочей документации	5	5,7	1,36
*F*8	Задержки в предоставлении информации подрядчику на этапе строительства	5	5,7	1,36
*F*9	Изменения в спецификациях и типе материалов и оборудования на стадии строительства	5	5,7	1,36
*F*10	Несвоевременный контроль сроков и качества материалов и оборудования	4	4,5	1,09
*F*11	Задержки в выдаче инструкций и указаний подрядным организациям	5	5,7	1,36
*F*12	Дефицит трудовых ресурсов	3	3,4	0,82
*F*13	Несвоевременный контроль устранения дефектов, выявленных у подрядчика	4	4,5	1,09
*F*14	Несоблюдение порядка и последовательности этапов комплексных испытаний систем	5	5,7	1,36
*F*15	Несвоевременная подготовка исполнительной документации	4	4,5	1,09
*F*16	Невыполнение обязательств субподрядчиками и отдельными поставщиками	3	3,4	0,82
*F*17	Низкое качество выполненных СМР	5	5,7	1,36
*F*18	Низкая эффективность системы закупок и поставок	4	4,5	1,09
*F*19	Форс-мажоры или другие внешние факторы	4	4,5	1,09
*F*20	Компетенции специалистов	5	5,7	1,36

новление зависимости между совокупностью факторов и отклонением фактической продолжительности работ от расчетной. В качестве зависимой переменной принимается:

$$\Delta T = \mathrm{T}_2 - \mathrm{T}_1,$$

где T_2 – фактическая продолжительность выполнения работ; T_1 – расчетная продолжительность; ΔT – отклонение продолжительности.

Для количественной оценки влияния факторов используется модель множественной линейной регрессии:

$$\Delta T = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i F_i + \varepsilon,$$

где F_1, F_2, …, F_n – значения факторов (независимые переменные), представленные в виде количественных индексов; β_0 – свободный член модели; β_1, β_2, …, β_n – коэффициенты ре-

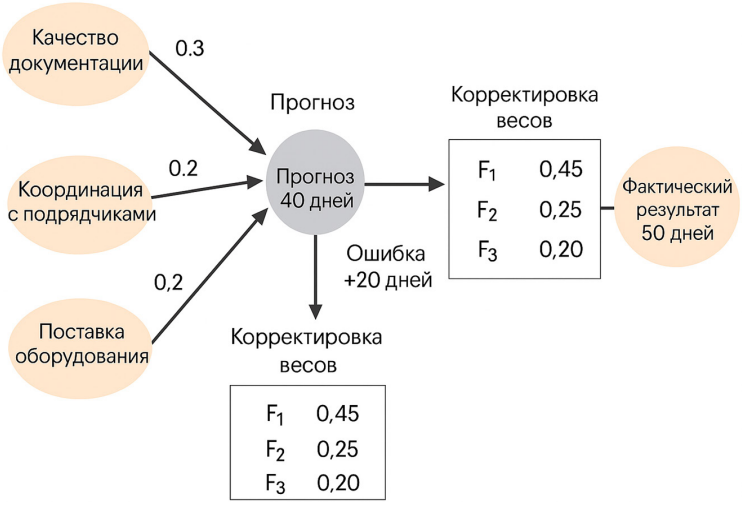


Рис. 1. Схема работы искусственной нейронной сети (пример)

грессии, отражающие вклад соответствующих факторов в изменение продолжительности; ε – случайная составляющая, учитывающая влияние неучтенных факторов, погрешности измерений и стохастическую неопределенность. Таким образом, модель позволяет интерпретировать коэффициенты β_i как приращение отклонения продолжительности при изменении соответствующего фактора на единицу при прочих равных условиях. На первоначальном этапе, при ограниченной выборке реализованных объектов, коэффициенты регрессии β_i предлагается определить методом пропорционального распределения фактического отклонения ΔT по значениям индексов факторов. По мере накопления статистической информации по реализованным объектам предполагается переход к классической процедуре оценки коэффициентов методом наименьших квадратов. В рамках научного исследования было принято 20 факторов [4–9], влияющих на продолжительность монтажа инженерных систем, и произведена оценка их влияния на продолжительность выполнения монтажных работ. Экспертная группа включала представителей основных участников строительного процесса, где каждому эксперту предлагалось оценить степень влияния выделенных факторов на сроки монтажа по шкале от 1 до 5 баллов, где 1 балл – минимальное влияние, 5 баллов – критическое влияние на продолжительность работ. После обработки экспертных оценок определен вес каждого фактора, и на основе этого значения была получена количественная оценка фактора. Такой подход позволил интегрировать влияние каждого фактора в регрессионную модель и использовать полученные оценки для прогнозирования продолжительности проекта. Итоговые значения представлены в табл. 1. На основе количественных оценок 20 факторов было построено регрессионное уравнение:

$$T = 5 + 0{,}122F_1 + 0{,}122F_2 + 0{,}122F_3 + 0{,}098F_4 + \\ + 0{,}122F_5 + 0{,}074F_6 + 0{,}122F_7 + 0{,}122F_8 + \\ + 0{,}122F_9 + 0{,}098F_{10} + 0{,}122F_{11} + 0{,}074F_{12} + \\ + 0{,}098F_{13} + 0{,}122F_{14} + 0{,}098F_{15} + 0{,}074F_{16} + \\ + 0{,}122F_{17} + 0{,}098F_{18} + 0{,}098F_{19} + 0{,}122F_{20},$$

где T – прогнозируемая продолжительность проекта (в годах), $T_0 = 5$ лет – расчетная продолжительность, F_i – уровень проявления фактора i для конкретного проекта, а коэффициенты получены нормализацией количественных оценок факторов с учетом изменения продолжительности ($\Delta T = 2$ года). Данное уравнение позволяет количественно оценивать вклад каждого фактора в увеличение продолжительности работ и использовать его для анализа рисков и оптимизации про-цессов.

В дальнейшем предлагается интеграция модели с использованием искусственных нейронных сетей (**ИНС**) с целью прогнозирования отклонений от расчетной продолжительности на новых объектах. Для этого авторы планируют использовать метод обратного распространения ошибки для обучения ИНС.

Данный метод позволяет корректировать

веса связей между факторами на основе разницы между прогнозом и фактическим значением, выявлять скрытые связи между факторами и повышать точность прогнозов. Схема работы ИНС представлена на рис. 1

Заключение

Совмещение регрессионной модели с ИНС позволяет оценивать вклад каждого негативного фактора и выявлять скрытые нелинейные зависимости между ними.

Таким образом, прогнозирование продолжительности монтажа инженерных систем высотных зданий выполняется на основе накопленных данных аналогичных объектов, что повышает рациональность их устройства для успешного ввода в эксплуатацию.

Литература

1. Олейник, П.П. Организация строительного производства / П.П. Олейник. – М. : АСВ, 2010. – 572с.
2. Коновалова, Е.А. Экспертная оценка качества продукции методом ранжирования / Е.А. Коновалова, Т.М. Щербакова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 8-3(19-3). – С. 297–299.
3. Олейник, П.П. Основные факторы, влияющие на качество работ при монтаже инженерных систем высотных зданий / П.П. Олейник, М.Х. Абас // Строительное производство. – 2023. – № 4. – С. 21–25.
4. Антипина, О.В. Инновационно-инвестиционное развитие территорий в системе муниципального управления : дис. … канд. эконом. наук / О.В. Антипина. – Иркутск, 2011. – 167 с.
5. Бонченкова, В.А. Анализ факторов, влияющих на внутренний региональный продукт, с помощью построения модели множественной регрессии / В.А. Бонченкова, А.А. Детков, С.Ю. Гусева, П.С. Жихалов // Аллея науки. – 2017. – № 16. – С. 170–177.
6. Salim, W.N. Project Delay Analysis of Highrise Building Project in Jakarta / W.N. Salim, C. Sujana // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 426. – DOI: 10.1088/1755-1315/426/1/012051.
7. Koulinas, G. Schedule Delay Risk Analysis in Construction Projects with a Simulation-Based Expert System / G. Koulinas, A. Xanthopoulos, T. Tsilipiras, D. Koulouriotis // Buildings. – 2020. – Vol. 10(8). – P. 134. – DOI: 10.3390/buildings10080134.
8. Özdemir, M. A probabilistic schedule delay analysis in construction projects by using fuzzy logic incorporated with relative importance index (RII) method : Thesis for: Master of Science / M. Özdemir, 2010.

References

1. Olejnik, P.P. Organizatsiya stroitelnogo proizvodstva / P.P. Olejnik. – M. : ASV, 2010. – 572s.
2. Konovalova, E.A. Ekspertnaya otsenka kachestva produktsii metodom ranzhirovaniya / E.A. Konovalova, T.M. SHCHerbakova // Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. – 2015. – T. 3. – № 8-3(19-3). – S. 297–299.
3. Olejnik, P.P. Osnovnye faktory, vliyayushchie na kachestvo rabot pri montazhe inzhenernykh sistem vysotnykh zdanij / P.P. Olejnik, M.KH. Abas // Stroitelnoe proizvodstvo. – 2023. – № 4. – S. 21–25.
4. Antipina, O.V. Innovatsionno-investitsionnoe razvitie territorij v sisteme munitsipalnogo upravleniya : dis. … kand. ekonom. nauk / O.V. Antipina. – Irkutsk, 2011. – 167 s.
5. Bonchenkova, V.A. Analiz faktorov, vliyayushchikh na vnutrennij regionalnij produkt, s pomoshchyu postroeniya modeli mnozhestvennoj regressii / V.A. Bonchenkova, A.A. Detkov, S.YU. Guseva, P.S. ZHikhalov // Alleya nauki. – 2017. – № 16. – S. 170–177.

© М.Х. Абас, П.П. Олейник, 2026

УДК 376.356

ОЦЕНКА УРОВНЯ РАЗВИТИЯ РИТМИКО-ИНТОНАЦИОННОЙ СТОРОНЫ РЕЧИ У ОБУЧАЮЩИХСЯ С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХА МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

А.Е. БЫКОВА

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева», г. Чебоксары

Ключевые слова и фразы: ритмико-интонационная сторона речи; обучающиеся с нарушениями слуха; младший школьный возраст; просодика.

Аннотация: Целью исследования является оценка уровня развития ритмико-интонационной стороны речи у обучающихся с нарушениями слуха младшего школьного возраста. Гипотезой исследования выдвигается положение о том, что просодическая сторона речи, в частности ее ритмико-интонационный компонент, имеет существенные нарушения и особенности у учащихся младших классов с нарушениями слуха. В настоящем исследовании приведены диагностические методики оценки ритмико-интонационной стороны речи у слабослышащих обучающихся и детей с кохлеарным имплантом (**КИ**) младшего школьного возраста. Охарактеризованы особенности просодики младших школьников с нарушениями слуха по параметрам: восприятие и воспроизведение ритма и интонации, модулирование голоса по силе и высоте, восприятие и воспроизведение тембра голоса.

Актуальность изучения особенностей развития ритмико-интонационной стороны речи у обучающихся с нарушениями слуха младшего школьного возраста определяется рядом факторов. Во-первых, согласно Федеральной адаптированной образовательной программе начального общего образования в содержательном разделе для младших школьников с нарушениями слуха предусмотрены индивидуальные коррекционные занятия по формированию речевого слуха и произносительной стороны речи. В ходе проведения данных занятий решаются, в том числе, задачи, направленные на развитие речевого дыхания, умения изменять силу, высоту и тембр голоса, воспроизводить звуковую и ритмико-интонационную структуру речи (слов, фраз, текстов, коротких стихотворений), эмоционально произносить речевой материал [3].

Во-вторых, в Федеральном государственном образовательном стандарте начального общего образования для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья (**ОВЗ**) указано, что выпускник начальной школы должен обладать четкой, выразительной, грамотной речью [4].

Проблему формирования просодической стороны речи у обучающихся с ОВЗ рассматривали такие ученые, как Е.С. Алмазова, Л.З. Арутюнян, Е.Ф. Архипова, Г.В. Бабина, Л.И. Белякова, С.Н. Викжанович, Л.В. Забродина, Л.С. Ковригина, О.С. Кузьмина, Е.Е. Шевцова и др.

Исследованию особенностей развития ритмико-интонационной стороны речи у обучающихся с нарушениями слуха посвящены труды Т.М. Власовой, Э.И. Леонгард, Л.П. Носковой, Т.В. Пелымской, А.Н. Пфафенродт, Ф.Ф. Рау, Н.Ф. Слезиной, Н.Д. Шматко, Е.З. Яхниной и др. Ученые указывают, что нарушенная слуховая функция непосредственно влияет на формирование и развитие ритмико-интонационной стороны речи, что выражается у детей с нарушениями слуха в трудностях или невозможности воспринимать просодические компоненты речи окружающих, недостаточности слухового контроля собственной речи. Отсутствие намеренного привлечения внимания ребенка к речи со стороны взрослых приводит к тому, что го-

Таблица 1. Определение уровня развития ритмико-интонационной стороны речи у обучающихся с нарушениями слуха младшего школьного возраста

Параметры \ Уровень	Низкий, %		Средний, %		Высокий, %	
	группа 1	группа 2	группа 1	группа 2	группа 1	группа 2
Восприятие и воспроизведение ритма	33	22	67	78	–	–
Восприятие и воспроизведение интонации	67	44	33	56	–	–
Модулирование голоса по высоте	33	22	50	56	17	22
Модулирование голоса по силе	33	22	50	56	17	22
Восприятие и воспроизведение тембра голоса	67	44	33	45	–	11

лос детей с нарушениями слуха остается глухим, монотонным, немодулированным по высоте и силе.

Целенаправленное развитие ритмико-интонационной стороны речи у обучающихся с нарушениями слуха младшего школьного возраста является необходимым условием их успешной социальной и учебной адаптации в системе специального и инклюзивного образования [2].

Целью настоящего исследования было выявление уровня развития ритмико-интонационной стороны речи у обучающихся с нарушениями слуха младшего школьного возраста.

Констатирующий эксперимент проводился на базе:

– БОУ «Чебоксарская общеобразовательная школа для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья № 3» Минобразования Чувашии;

– БОУ ЧР «Цивильская общеобразовательная школа-интернат для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья № 1» Минобразования Чувашии;

– Детской академии факультета дошкольной и коррекционной педагогики ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева».

В эксперименте приняли участие 30 испытуемых младших классов с нарушениями слуха, среди которых были дети с III–IV степенью сенсоневральной тугоухости (группа 1) и дети с КИ (группа 2).

В качестве диагностических методик были использованы методики Е.Ф. Архиповой [1], направленные на исследование воспроизведения ритма, интонации, модуляций голоса по высоте, и Л.В. Забродиной и Е.Е. Шевцовой [5] по исследованию модуляций голоса по силе, воспроизведения тембра голоса.

Данные, полученные в ходе проведения констатирующего эксперимента, представлены в табл. 1.

В ходе исследования восприятия и воспроизведения ритма испытуемыми высокий уровень не был выявлен ни у одного из учащихся. Средний уровень продемонстрировало большинство обучающихся с нарушениями слуха – 67 % слабослышащих детей и 78 % детей с КИ. У испытуемых наблюдалась сложность в правильном воспроизведении темпа ритмических ударов (наблюдался преимущественно замедленный темп), дети допускали ошибки в серии акцентированных ударов, неуверенно справлялись с определением ритма на слух без зрительной опоры.

Низкий уровень показали 33 % и 22 % школьников соответственно. Дети делали ошибки при воспроизведении акцентированных и слабых ударов, испытывали трудности во время повторения изолированных ударов без опоры на зрительное восприятие, не могли воспроизвести заданный ритмический рисунок.

Средний уровень сформированности умения воспринимать и воспроизводить речевую интонацию отмечался у 33 % и 56 % испытуемых соответственно. Слабослышащим учащимся и младшим школьникам с КИ этого уровня

было легче воспроизводить фразы с разными типами интонации отраженно. При выполнении задания на повторение фразы с противоположной интонацией дети затруднялись в воспроизведении предложения с вопросительной интонацией; воспроизведение повествовательной интонации не вызывало у испытуемых существенных трудностей.

Полное отсутствие вопросительной интонации было выявлено у учащихся с низким уровнем сформированности умения воспроизводить речевую интонацию (67 % и 44 % соответственно). Дети с трудом справлялись с выполнением задания на отраженное проговаривание фразы с восклицательной интонацией. Некоторые испытуемые не понимали условия задания на воспроизведение фразы с противоположной интонацией и начинали отвечать на вопросы. Речь детей этого уровня характеризуется монотонностью, неумением соблюдать словесное и логическое ударение.

Рассмотрим экспериментальные данные по параметру «Модулирование голоса по высоте». Высокий уровень сформированности данного умения показали 17 % и 22 % испытуемых соответственно. Слабослышащие дети с лучшими остатками слуха и дети с КИ обладают более звучным, естественным и модулированным голосом.

Средний уровень был отмечен у 50 % и 56 % учеников соответственно. У детей наблюдались некоторые ошибки, которые заключались в неправильном или недостаточном изменении голоса по высоте. Испытуемые с КИ лучше справлялись с заданиями на изменение высоты голоса.

Низкий уровень сформированности умения модулировать голос по высоте обнаружился у 33 % и 22 % учащихся с нарушениями слуха. Для этих школьников характерно неумение повышать и понижать голос, у них отмечается невыразительность речи и отсутствие естественных модуляций.

По параметру «Модулирование голоса по силе» распределение испытуемых на высоком уровне составило 17 % и 22 % соответственно.

Средний уровень сформированности умения изменять голос по силе показали 50 % и 56 % учеников соответственно. Во время выполнения задания дети не во всех случаях правильно определяли силу звучания на слух, испытывали сложности с произвольной регуляцией громкости.

Низкий уровень был выявлен у 33 % и 22 % учащихся. Испытуемые этого уровня не могли правильно определять силу звучания и были не способны изменять голос по силе даже при сопряженном проговаривании вместе с экспериментатором. По параметру «Восприятие и воспроизведение тембра голоса» на высоком уровне оказались 2 испытуемых с КИ. Средний уровень умения воспроизводить тембр голоса был констатирован у 33 % и 45 % учащихся с нарушениями слуха соответственно. У детей наблюдаются незначительные нарушения тембра и резонанса. На низком уровне распределились 67 % и 44 % испытуемых соответственно. Для них характерны грубые нарушения тембра голоса. У детей были отмечены следующие нарушения голоса: низкий, беззвучный, тихий, хриплый, гнусавый.

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

– у учащихся младших классов с нарушениями слуха преобладают средний и низкий уровни развития ритмико-интонационной стороны речи, причем у детей с КИ отмечается качественно более высокое развитие просодического компонента речи;

– у слабослышащих школьников и школьников с КИ часто возникают нарушения ритмической организации речи, что приводит к искажению ее восприятия окружающими;

– речи учащихся с нарушениями слуха присуща монотонность и отсутствие выразительности; она часто лишена естественных модуляций; дети испытывают трудности в воспроизведении мелодического рисунка вопросительной и восклицательной интонации, наблюдаются трудности в воспроизведении словесного и логического ударения;

– слабослышащие дети с лучшими остатками слуха и дети с КИ обладают более звучным, естественным и модулированным голосом;

– речь детей с более глубокими нарушениями слуха отличается отсутствием разнообразия в изменении голоса по высоте и силе; у них отмечается невыразительность речи и отсутствие естественных модуляций;

– существует прямая зависимость состояния тонального слуха от наличия у слабослышащих учащихся и учащихся с КИ нарушений тембра голоса; у испытуемых отмечались такие нарушения голоса, как низкий, беззвучный, тихий, хриплый, гнусавый голос.

Литература

1. Архипова, Е.Ф. Стертая дизартрия у детей / Е.Ф Архипова. – М. : АСТ : Астрель, 2007. – 331 с.
2. Федотова, А.Е. Исследование готовности бакалавров направления подготовки «Педагогическое образование» к организации социально-педагогической деятельности с обучающимися с ограниченными возможностями здоровья / А.Е. Федотова // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2020. – № 11(134). – С. 165–168.
3. Об утверждении федеральной адаптированной образовательной программы начального общего образования для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья : Приказ Министерства просвещения РФ от 24 ноября 2022 г. № 1023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406486955.
4. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта начального общего образования обучающихся с ограниченными возможностями здоровья : Приказ Министерства образования и науки РФ от 19 ноября 2014 г. № 1598 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=444229.
5. Шевцова, Б.Б. Технологии формирования интонационной стороны речи / Б.Б. Шевцова, Л.В. Забродина. – М. : Юрайт, 2019. – 189 с.

References

1. Arkhipova, E.F. Stertaya dizartriya u detej / E.F Arkhipova. – M. : AST : Astrel, 2007. – 331 s.
2. Fedotova, A.E. Issledovanie gotovnosti bakalavrov napravleniya podgotovki «Pedagogicheskoe obrazovanie» k organizatsii sotsialno-pedagogicheskoj deyatelnosti s obuchayushchimisya s ogranichennymi vozmozhnostyami zdorovya / A.E. Fedotova // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2020. – № 11(134). – S. 165–168.
3. Ob utverzhdenii federalnoj adaptirovannoj obrazovatelnoj programmy nachalnogo obshchego obrazovaniya dlya obuchayushchikhsya s ogranichennymi vozmozhnostyami zdorovya : Prikaz Ministerstva prosveshcheniya RF ot 24 noyabrya 2022 g. № 1023 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406486955.
4. Ob utverzhdenii federalnogo gosudarstvennogo obrazovatelnogo standarta nachalnogo obshchego obrazovaniya obuchayushchikhsya s ogranichennymi vozmozhnostyami zdorovya : Prikaz Ministerstva obrazovaniya i nauki RF ot 19 noyabrya 2014 g. № 1598 [Electronic resource]. – Access mode : https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=444229.
5. SHevtsova, B.B. Tekhnologii formirovaniya intonatsionnoj storony rechi / B.B. SHevtsova, L.V. Zabrodina. – M. : YUrajt, 2019. – 189 s.

© А.Е. Быкова, 2026

УДК 811.512.1

ИЗУЧЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ БОРЬБЫ, ПРИСУЩИХ ТЮРКСКИМ НАРОДАМ, ТАКИХ КАК ХАПСАГАЙ, КАЗАХША-КУРЕС, КАЛМАК КУРОШ, МОНГОЛ БОХ, БУХЕ-БАРИЛДААН И ХУРЕШ

В.А. ВАСИЛЬЕВ, М.И. СЕНТИЗОВА, Г.Н. ШЕРГИН, В.И. РЕШЕТНИКОВА

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск

Ключевые слова и фразы: хапсагай; казахша күрес; калмак күрөш; монгол бох; бухе-барилдаан; хуреш; традиции; истоки; анкетирование.

Аннотация: В статье представлены данные исследований по изучению традиционных видов борьбы тюркских и монгольских народов Центральной Азии, включая хапсагай, казахша күрес, калмак күрөш, монгол бох, бухе-барилдаан и хуреш. Исследование рассматривает исторические истоки, культурное значение, технические особенности и правила каждого вида борьбы. Особое внимание уделяется их роли в формировании национальной идентичности, физической подготовки и передаче культурных традиций.

Цель исследования: изучить исторические и культурные аспекты тюркских и монгольских традиционных видов борьбы, выявить их технические особенности и роль в формировании национальной идентичности, а также определить пути сохранения и развития этих видов борьбы в современном обществе для укрепления культурного наследия и популяризации традиционных единоборств.

Материалы и методы: изучение на основе литературных источников и видеоматериалов традиционных тюркских видов борьбы.

Результаты: проанализированы популярность, социальная значимость, культурное наследие и традиции; проведено анкетирование среди студентов, которое выявило знание особенностей и значимости традиционных видов борьбы тюркских народов. Результаты демонстрируют уникальность и разнообразие каждого вида борьбы, отражающего этнические и региональные особенности.

Введение

Борьба – один из самых древних видов единоборства, который имеет интересную и яркую историю. Каждый народ привносил в правила борьбы своеобразие в соответствии с природными условиями, культурными традициями и представлениями о физической силе и моральных устоях [1, с. 433].

В рамках исследования планируется рассмотреть следующие виды национальной борьбы тюркских народов.

«Хапсагай» – национальная борьба якутов. Костюм борцов состоит из трусов (бандажа) и мягкой обуви, но можно бороться и в обычной одежде. Захваты выполняются за любую часть тела противника, за туловище и ноги. Цель борьбы – заставить противника встать на колени или коснуться земли рукой [1, с. 478].

«Казахша курес» – национальная борьба казахов. Схватка происходит в специальных куртках с матерчатым поясом. За пояс и выше пояса разрешаются любые захваты. Цель схватки – бросить противника на спину [1, с. 207].

«Бухэ барилдан» – монгольская национальная борьба. Схватки не ограничиваются по времени, нет весовых категорий, побежденным считается тот, кто первым коснется земли. У каждого борца свой судья [1, с. 72].

«Хуреш» – тувинская национальная борьба. Правила просты: нужно сдвинуть противника с места или повалить на землю без использования каких-либо толчков или зажимов. Проигравшим считается борец, первым упавший

Таблица 1. Результаты анкетирования

Вопрос анкеты	Варианты ответа	Количество студентов	%
Знаете ли вы традиционные виды борьбы тюркских народов?	Да Нет	18 7	72 28
Какие виды борьбы вам известны?	Хапсагай Казахша курес Хуреш Бухэ-барилдаан Не знаю	10 6 4 3 2	40 24 16 12 8
Считаете ли вы традиционные виды борьбы частью культурного наследия?	Да Нет	21 4	84 16
Интересно ли вам изучать традиционные виды борьбы?	Да Нет	17 8	68 32
Нужно ли развивать и популяризировать традиционные виды борьбы среди молодежи?	Да Нет	22 3	88 12

Примечание: количество опрошенных – 25 студентов

на землю или коснувшийся земли коленом [1, с. 433].

«Калмак курош» – калмыцкая национальная борьба, спортсмены борются, держа друг друга за пояс крестным захватом. В схватках разрешены все действия, способные перевести противника из положения стоя в положение лежа. Но борцы не должны отпускать захват. Победу одерживает тот спортсмен, который бросает своего соперника на спину [1, с. 211].

«Монгол бох» – бөхийн барилдаан – монгольская национальная борьба, один из самых древних и почитаемых видов единоборств, зародившихся среди монгольских кочевников. Правила борьбы отличаются от других видов единоборств: соревнования проводятся исключительно в стойке, и главная задача борца – вывести соперника из равновесия и заставить его коснуться земли любой частью тела от колена и выше. Борьба на земле строго запрещена. Особое значение придается броскам, самым престижным считается бросок на спину с последующим прижатием соперника коленом к земле.

Анализ исследования тюркских традиционных видов борьбы

Исторический контекст

Все эти виды борьбы зародились в древние времена, когда физическая сила и ловкость были критически важны для выживания. Участие в борьбе отбирало лучших воинов, укрепляло общественные связи и интегрировало дух соревновательности.

Например, хапсагай, как правило, проводился на больших праздниках, символизируя единство и силу народа.

Технические особенности

Хапсагай – характеризуется особой техникой захвата и броска. Состязания часто происходят на специальной арене, и важным элементом является техника падения [2, с. 112].

Казахша-курес – акцентируется на захватах и работе с противником на земле. Здесь важна сила воли, выносливость и стратегическое мышление.

Калмак курош – считается одним из самых древних видов. Стратегия борьбы и выбор позиций играют ключевую роль.

Монгол бох – схватки проводятся на открытой местности, и участники часто используют свои одежды в борьбе.

Бухе-барилдаан – отличается предпочтением техники и подготовкой борцов к физически сложным условиям.

Хуреш – включает элементы борьбы, присущие различным национальностям, что делает его универсальным.

Социально-культурная значимость

Эти виды борьбы служат важным механизмом сохранения культурной идентичности. Они не только организуют спортивные события, но и становятся платформой для передачи моральных и этических норм, таких как честность, уважение к сопернику и почитание предков.

В каждом виде борьбы существуют свои ритуалы и обряды, которые укореняются в культуре, формируя коллективное сознание.

Современные тенденции

Традиционные виды борьбы – основа физической активности, а также глубокой культурной практики, окутанной историей и традициями. Эти виды борьбы сохраняют важность как в прошлом, так и в современном обществе, служат инструментом для укрепления общественных связей и формирования идентичности.

В последние десятилетия наблюдается возрождение интереса к тюркским видам борьбы. Это связано с глобализацией и стремлением сохранить культурные традиции. В неофициальных и официальных турнирах борцы представляют свои регионы и страны, тем самым укрепляя культурные связи и повышая интерес молодежи к физической активности.

Заключение

Изучив и проанализировав специальную литературу по данной теме, важно отметить, что эти виды борьбы отражают исторические традиции, моральные нормы и социальные связи, способствуя сохранению культурного наследия.

Современный интерес к традиционным видам борьбы тюркских и монгольских народов Центральной Азии подчеркивает необходимость их популяризации и передачи будущим поколениям, что делает их важной частью культурного контекста сегодня.

Данная работа выделяет значимость сохранения и популяризации этих традиционных видов борьбы как части нематериального культурного наследия и средства укрепления межэтнических связей в современном обществе.

В дальнейшем необходимо продолжать исследования по данному направлению, привлекая большее количество участников и расширяя академическое сотрудничество, чтобы увековечить и сохранить эти уникальные культурные практики для передачи будущим поколениям.

Литература

1. Бадамхатан, С. Монгольская национальная борьба «бөх»: история и традиции / С. Бадамхатан. – Улан-Батор, 2012.
2. Жолдасбеков, С.А. Казахша күрес как национальный вид спорта Казахстана / С.А. Жолдасбеков. – Алматы, 2015.
3. Мандзяк, А.С. Энциклопедия традиционных видов борьбы народов мира / А.С. Мандзяк, О.Л. Артеменко. – Минск, 2010. – 562 с.
4. Министерство спорта Российской Федерации. Национальные виды спорта народов России : методические рекомендации. – М., 2020.
5. Торговкин, В.Г. Хапсагай: история, методика, способы проведения соревнований : учеб. пособие / В.Г. Торговкин, В.В. Уйгуров, В.Е. Стручков, П.И. Кривошапкин, Н.В. Никифоров, Н.С. Филиппов. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2019. – 148 с.
6. Гурьева, А.В. Якутская спортивная лексика в русском языке / А.В. Гурьева, М.И. Сентизова // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2020. – № 11(134). – С. 22–24.

References

1. Badamkhatan, S. Mongolskaya natsionalnaya borba «bөkh»: istoriya i traditsii / S. Badamkhatan. – Ulan-Bator, 2012.
2. ZHoldasbekov, S.A. Kazakhsha kүres kak natsionalnij vid sporta Kazakhstana / S.A. ZHoldasbekov. – Almaty, 2015.
3. Mandzyak, A.S. Entsiklopediya traditsionnykh vidov borby narodov mira / A.S. Mandzyak, O.L. Artemenko. – Minsk, 2010. – 562 s.
4. Ministerstvo sporta Rossijskoj Federatsii. Natsionalnye vidy sporta narodov Rossii : metodicheskie rekomendatsii. – M., 2020.

5. Torgovkin, V.G. KHapsagaj: istoriya, metodika, sposoby provedeniya sorevnovanij : ucheb. posobie / V.G. Torgovkin, V.V. Ujgurov, V.E. Struchkov, P.I. Krivoshapkin, N.V. Nikiforov, N.S. Filippov. – YAkutsk : Izdatelskij dom SVFU, 2019. – 148 s.

6. Gureva, A.V. YAkutskaya sportivnaya leksika v russkom yazyke / A.V. Gureva, M.I. Sentizova // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2020. – № 11(134). – S. 22–24.

© В.А. Васильев, М.И. Сентизова, Г.Н. Шергин, В.И. Решетникова, 2026

УДК 378.147

ПОДГОТОВКА МАГИСТРАНТОВ-МУЗЫКАНТОВ К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

С.А. ВОРОБЬЕВА

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского», г. Липецк

Ключевые слова и фразы: дорожная карта; качество образования; магистрант-музыкант; управление; учреждение дополнительного образования.

Аннотация: Целью статьи является подготовка будущих менеджеров к управлению качеством образования в учреждениях дополнительного образования в области музыкального искусства. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: провести социологическое исследование среди родителей обучающихся; разработать дорожную карту повышения качества образования; проверить эффективность дорожной карты в учебно-образовательном процессе детской школы искусств. Гипотеза исследования построена на предположении о том, что управление качеством образования в условиях ДШИ будет эффективным, если этот процесс будет опираться на дорожную карту, определяющую траекторию развития компетентности педагогов и повышения уровня подготовки выпускников, а также будет учитываться мнение целевой аудитории об уровне предоставляемых образовательных услуг. Методами исследования данной работы являются анкетирование, разработка дорожной карты, анализ сравнительных данных. Достигнутые результаты: использование разработанной магистрантами дорожной карты в учебно-образовательном процессе МБУ ДО «ДШИ № 4 им. М.А. Балакирева» г. Липецка позволило повысить уровень качества образования, руководству оценить потенциал существующих ресурсов для поддержания репутации учреждения на рынке образовательных услуг.

В соответствии с модернизацией образовательной стратегии в России к учреждениям дополнительного образования предъявляются новые требования. Задачи, которые стоят в настоящее время перед детскими музыкальными школами и школами искусств, определены в Федеральных государственных требованиях, предъявляемых к дополнительным предпрофессиональным программам в области музыкального искусства.

Поскольку основная функция учреждений дополнительного образования связана с обучением, особое внимание уделяется менеджменту качества образования. Важнейшей составляющей данной управленческой деятельности является ее преобразовательный характер, который направлен не на изменение предметной среды, а на изменение системы общественных отношений. Таким образом, управление качеством образования можно определить как специфический способ влияния на различные компоненты учебно-образовательного процесса, направленного на достижение намеченных целей.

Особенностям образовательной деятельности в условиях учреждений дополнительного образования посвящены труды исследователей: Л.В. Байбородовой, Е.Б. Евладовой, Н.А. Соколовой, Д.Е. Яковлева и других.

Разработке теоретических, методических и прикладных проблем в области менеджмента качества образования посвятили свои труды такие ученые, как Г.А. Бордовский, Л.А. Гоберман, С.Я. Гродзенский, В.П. Панасюк, М.М. Поташник, П.И. Третьяков и другие.

На основе анализа данных источников можно утверждать, что менеджмент каче-

ства образования является мощным средством управления репутацией учреждения на рынке образовательных услуг и важным фактором в укреплении его конкурентоспособности и формировании общественного мнения. «Острая потребность в учителях новой формации предполагает переход на новый уровень качества современного образования, модернизацию подготовки студентов к их профессиональной деятельности в соответствии с новыми образовательными тенденциями, особенно в период педагогической практики» [2, с. 76].

С целью подготовки магистрантов-музыкантов, обучающихся в ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского» по направлению подготовки 44.04.01 «Педагогическое образование» (направленность «Менеджмент в сфере музыкального образования»), к управлению качеством образования предполагается прохождение производственной проектно-технологической практики. Целью данной практики является – «закрепление, углубление и систематизация знаний, полученных студентами в процессе обучения, приобретение практических умений и навыков в области проектной деятельности, формирование профессиональных компетенций, освоение современных информационных технологий» [1, с. 99].

Для достижения поставленной цели было разработано задание, направленное на поиск эффективных средств повышения качества образования в Детской школе искусств. Эта работа включала три этапа. На первом этапе студенты разработали вопросы анкеты для родителей учеников школы и провели опрос. На втором этапе была разработана дорожная карта повышения качества образования в условиях ДШИ. Третий этап включал анализ эффективности дорожной карты в период с 01.09.2025 г. по 30.12. 2025 г. и проведение сравнительного анализа количественных показателей с показателями за тот же период 2024 г.

Базой практики являлось МБУ ДО «ДШИ № 4 им. М.А. Балакирева» г. Липецка.

В анкетировании приняло участие 60 родителей. Опрос проводился анонимно.

По результатам ответов на первый вопрос анкеты было установлено, что среди респондентов участвовало 12 человек (20 %) в возрасте 26–35 лет, 48 человек (80 %) в возрасте 35–45 лет.

На второй вопрос относительно количества образовательных программ, по которым обучается ребенок, 45 (75 %) респондентов ответили, что их ребенок обучается по одной образовательной программе, у 15 (25 %) родителей ребенок осваивает две программы.

На следующий вопрос о содержании образовательных программ и соответствии уровня их преподавания ожиданиям родителей 42 (70 %) респондента выразили мнение, что полностью соответствует, 10 (16 %) человек ответили, что в основном соответствует, 2 (4 %) респондента считают, что уровень преподавания частично соответствует их ожиданиям, 6 (10 %) родителей затруднились с ответом.

На четвертый вопрос об оценке сайта образовательной организации 30 (50 %) респондентов дали оценку «отлично», 10 (16 %) родителей считают работу сайта хорошей, 15 (25 %) человек выразили мнение об удовлетворительной работе сайта.

На пятый вопрос о содержании сайта и достоверности информации, размещенной на нем, положительно ответили 50 (84 %) респондентов, 10 (16 %) родителей затруднились с ответом.

На следующий вопрос о том, можно ли любую информацию найти легко и быстро, положительный ответ дали 50 (84 %) человек, 10 (16 %) родителей затруднились с ответом.

На седьмой вопрос о доступности контактных данных школы все респонденты (100 %) ответили утвердительно.

На вопрос об оценке качества образовательных услуг, предоставляемых данным учебным заведением, 42 (70 %) респондента дали оценку «отлично», 15 (25 %) родителей считают уровень услуг хорошим, 3 (5 %) человека оценили на «удовлетворительно».

На девятый вопрос об участии детей в конкурсах, фестивалях и других мероприятиях, 52 (86 %) респондента ответили положительно, 5 (9 %) человек ответили отрицательно, 3 (5 %) человека затруднились с ответом.

На вопрос о вежливости и доброжелательности работников школы утвердительно ответили 48 (80 %) респондентов, 7 (11 %) человек выбрали второй вариант ответа: «да, в большинстве случаев», 5 (9 %) родителей затруднились с ответом.

На следующий вопрос относительно удовлетворенности компетентностью и профессионализмом педагогов ДШИ 55 (91 %) родители ответили утвердительно, 5 (9 %) респондентов

Целевой блок	Содержательный блок	Результативный блок
Повышение компетентности педагогического коллектива	1. Организация прохождения курсов повышения квалификации педагогами ДШИ; 2. Посещение педагогами мастер-классов, организованных РРЦ, ЛОКИ им. К.Н. Игумнова и другими образовательными учреждениями; 3. Участие в научно-практических конференциях, методических семинарах; 4. Участие в концертах и конкурсах различного уровня	Повышение компьютерной и методической грамотности педагогов; Внедрение в учебный процесс музыкально-компьютерных технологий; Обмен педагогическим опытом; Повышение уровня исполнительского мастерства
Повышение мотивации обучающихся к овладению исполнительским мастерством	1. Участие учеников во внутришкольных конкурсах и концертах; 2. Подготовка учащихся к участию в различного уровня олимпиадах, фестивалях и конкурсах; 3. Участие школьников в концертах Филармонии ДШИ; 4. Участие в мастер-классах, семинарах	Участие в конкурсах городского уровня, Всероссийских и Международных конкурсах

Рис. 1. Дорожная карта повышения эффективности качества образования

затруднились с ответом.

На вопрос об удовлетворении материально-технической базой ДШИ положительно ответили 40 (67 %) респондентов, второй вариант ответа – «скорее удовлетворяет» – выбрали 19 (31 %) человек, 1 (2 %) респондент затруднился с ответом.

На заключительный вопрос об учете индивидуальных и возрастных особенностей обучающихся в учебно-образовательном процессе положительно ответили 56 (94 %) респондентов, 4 (6 %) человека затруднились с ответом.

Таким образом, проведенный опрос родителей показал, что большинство родителей удовлетворены качеством образования в данном учреждении. Однако можно предположить, что не все родители проявляют интерес к образовательной деятельности школы, не обращаются к сайту школы, не проявляют должного интереса в установлении обратной связи с педагогами ДШИ.

Также магистрантами было выдвинуто предположение о том, что для повышения уровня качества образования в ДШИ № 4 все имеющиеся ресурсы используются не в полной мере. В связи с этим представляется целесообразным разработать дорожную карту повышения качества образования и обозначить в ней возможные траектории, которые способствовали бы эффективности учебно-образовательного процесса.

На основе проведенного опроса совместно с руководителем практики была разработана дорожная карта повышения эффективности качества образования в данном учреждении. Данная карта включала в себя три основных блока – целевой, содержательный и результативный. Целевой блок содержит два основных направления: повышение компетентности педагогического коллектива; повышение мотивации обучающихся к овладению исполнительским мастерством.

Все показатели содержательного и результативного блоков дорожной карты включали основные виды деятельности, направленные на совершенствование компетенций педагогов и влияющие на эффективность организации учебно-образовательного процесса и достижение высокого уровня подготовки выпускников.

Прежде, чем приступить к разработке дорожной карты и выявлению ее эффективности, магистранты проанализировали качественный состав педагогов музыкального отделения ДШИ № 4.

Исходя из сведений, размещенных на сайте ДШИ, было установлено, что на отделении работают 29 штатных преподавателей. 25 из них имеют высшее образование, 4 педагога – среднее специальное. 20 преподавателей имеют высшую категорию, 7 педагогов – первую, а 2 молодых специалиста не имеют категории на данный момент. Обучаются на отделении 198 учеников.

Педагоги музыкального отделения ведут активную педагогическую работу, регулярно принимают участие в концертных мероприятиях, конкурсах и фестивалях различных уровней, посещают мастер-классы, принимают участие в

Таблица 1. Сравнительные результаты количественных показателей повышения компетентности педагогов

Виды работ	Выполнение работ педагогами-музыкантами в период с 01.09.2024 г. по 30.12. 2024 г.	Выполнение работ педагогами-музыкантами в период с 01.09.2025 г. по 30.12. 2025 г.
Прохождение курсов повышения квалификации педагогами ДШИ	13	18
Посещение педагогами мастер-классов, организованных РРЦ, ЛОКИ им. К.Н. Игумнова и другими образовательными учреждениями	10	14
Участие в научно-практических конференциях, методических семинарах	9	13
Участие в концертах и конкурсах различного уровня, фестивалях	7	12

Таблица 2. Сравнительные результаты количественных показателей повышения мотивации обучающихся к овладению исполнительским мастерством

Виды работ	Выполнение работ обучающимися в период с 01.09.2024 г. по 30.12. 2024 г.	Выполнение работ обучающимися в период с 01.09.2025 г. по 30.12. 2025 г.
Участие во внутришкольных конкурсах и концертах	30	44
Участие в олимпиадах, конкурсах, фестивалях различного уровня	49	60
Участие в концертах, организованных филармонией ДШИ	30	38
Участие в мастер-классах и методических семинарах	9	17

методических семинарах и т.д.

Таким образом, педагогический состав данного учреждения достаточно квалифицированный и соответствует всем требованиям, предъявляемым к педагогическим работникам учреждений дополнительного образования в области музыкального искусства.

В целях поддержания репутации ДШИ и обеспечения ее конкурентоспособности необходимо разработать дорожную карту. Для проверки эффективности разработанной магистрантами дорожной карты было осуществлено ее внедрение в учебно-образовательный процесс на музыкальном отделении МБУ ДО «ДШИ № 4 им. М.А. Балакирева» г. Липецка. В течение первого полугодия магистрантами проводился анализ количественных показателей выполнения педагогами и учащимися видов деятельности, указанных в дорожной карте (табл. 1 и 2). Анализ деятельности педагогов за период 2024 г. осуществлялся на основе изучения сайта учреждения, группы ДШИ № 4 в социальной сети ВКонтакте, материалов отчетной документации по образовательной деятельности учреждения, предоставленной администрацией учреждения.

В результате проведенного анализа была отмечена положительная динамика по всем видам деятельности, что подтвердило эффективность разработанной дорожной карты (рис. 1) и важность планомерной работы по управлению качеством образования.

Литература

1. Воробьева, С.А. Модель проектно-технологической практики магистрантов-музыкантов / С.А. Воробьева // Глобальный научный потенциал. – СПб. : ТМБпринт. – 2022. – № 2(131). – С. 99–103.

2. Мороз, В.В. Развитие креативности будущих учителей в процессе педагогической практики / В.В. Мороз, Е.Р. Южанинова // Глобальный научный потенциал. – СПб. : ТМБпринт. – 2019. – № 8(101). – С. 76–78.

References

1. Vorobeva, S.A. Model proektno-tekhnologicheskoj praktiki magistrantov-muzykantov / S.A. Vorobeva // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : TMBprint. – 2022. – № 2(131). – S. 99–103.

2. Moroz, V.V. Razvitie kreativnosti budushchikh uchitelej v protsesse pedagogicheskoj praktiki / V.V. Moroz, E.R. YUzhaninova // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : TMBprint. – 2019. – № 8(101). – S. 76–78.

© С.А. Воробьева, 2026

УДК 378.4037.1(571.56-25)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯКУТСКИХ НАЦИОНАЛЬНЫХ ВИДОВ СПОРТА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПО ЭЛЕКТИВНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА В СВФУ

И.И. ДРУЗЬЯНОВ

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск

Ключевые слова и фразы: якутские национальные виды спорта; физическая культура и спорт; элективные дисциплины; СВФУ; этнокультурный компонент; хапсагай; мас-рестлинг; кылыы; педагогическое моделирование.

Аннотация: В условиях глобализации и стирания культурных граней особую значимость приобретает задача сохранения этнокультурной идентичности в образовательном пространстве. Северо-Восточный федеральный университет (**СВФУ**), как крупнейший вуз на Дальнем Востоке и в Арктической зоне РФ, обладает уникальным потенциалом для интеграции культурного наследия народа саха в процесс физического воспитания студенческой молодежи. Внедрение якутских национальных видов спорта в учебный процесс представляется эффективным инструментом для решения этой задачи.

Цель исследования: разработать и научно обосновать модель интеграции якутских национальных видов спорта в систему элективных дисциплин по физической культуре и спорта в СВФУ.

Материалы и методы: в основе исследования лежит системный подход, включающий анализ научно-методической литературы, педагогическое наблюдение, метод моделирования и проектирования учебного процесса. Также проведен анализ существующих учебных программ и материально-технической базы СВФУ.

Результаты: на основе проведенного анализа разработана структурно-функциональная модель элективной дисциплины «Якутские национальные виды спорта», включающая три взаимосвязанных модуля: теоретический, практический и контрольно-соревновательный. Предложены: конкретное содержание каждого модуля, критерии оценки эффективности и требования к материально-техническому и кадровому обеспечению. Доказано, что реализация данной модели будет способствовать не только развитию физических качеств студентов (сила, ловкость, координация), но и формированию общекультурных компетенций, связанных со знанием и уважением традиций региона.

Введение

Современная государственная политика в области высшего образования и физической культуры ориентирована на реализацию двух взаимосвязанных стратегий: формирование гармонично развитой личности и сохранение национально-культурной идентичности народов России. В этом контексте физическая культура выступает не только как средство биологического совершенствования, но и как важнейший социокультурный феномен.

Республика Саха (Якутия) обладает богатейшим пластом традиционной физической культуры, ядром которой являются якутские национальные виды спорта (**ЯНВС**), сформировавшиеся под влиянием уникального уклада жизни и суровых природно-климатических условий [1]. Такие дисциплины, как борьба «хапсагай», «мас-рестлинг» (перетягивание палки),

прыжки «кылыы», «ыстанга», «куобах», представляют собой законченные системы физического и духовного воспитания, обладающие высоким дидактическим потенциалом [2].

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова (**СВФУ**), являясь флагманом образования на северо-востоке России, призван играть ключевую роль в сохранении и популяризации культурного наследия региона [3]. Однако потенциал ЯНВС в рамках учебного процесса, в частности в системе элективных дисциплин по физической культуре и спорта, раскрыт недостаточно полно. Элективные курсы, предоставляя студентам право выбора, создают идеальные условия для внедрения инновационных и культурно-ориентированных методик.

Целью данного исследования является разработка и научно-методическое обоснование модели использования ЯНВС в элективных дисциплинах по физической культуре и спорта в СВФУ.

Задачи исследования:

1) проанализировать педагогический и оздоровительный потенциал якутских национальных видов спорта;

2) разработать структурно-содержательную модель элективной дисциплины на основе ЯНВС;

3) определить организационно-педагогические условия успешной реализации данной модели в образовательной среде университета.

Актуальность темы обусловлена необходимостью сохранения национальных традиций, повышения мотивации студентов к занятиям физкультурой и оптимизации учебного процесса с учетом региональных особенностей.

Якутские национальные виды спорта как феномен физической культуры

Якутские национальные виды спорта (ЯНВС) сформировались под влиянием суровых природно-климатических условий, традиционного уклада жизни и мировоззрения народа саха. Они являются неотъемлемой частью духовной и материальной культуры Якутии. К основным видам относятся:

- мас-рестлинг (перетягивание палки): соревнование на силовое превосходство и координацию, требующее взрывной силы ног, спины и хвата;
- якутские прыжки (кылыы, ыстанга, куобах): система прыжковых упражнений, развивающих ловкость, координацию и выносливость. Кылыы (прыжки на одной ноге с толчковой), ыстанга (прыжки с ноги на ногу) и куобах (прыжки с двух ног с последовательным приземлением) представляют собой целостную тренировочную систему;
- национальная борьба «Хапсагай»: отличается динамичностью и минимальным количеством ограничений. Основной принцип – любым способом заставить соперника потерять равновесие и коснуться земли любой частью тела, кроме стоп;
- стрельба из традиционного лука: развивает концентрацию, меткость и устойчивость психики.

Эти виды спорта обладают высоким дидактическим потенциалом, так как комплексно развивают физические качества: силовую и скоростную выносливость, ловкость, гибкость, координацию. Кроме того, они несут в себе глубокий воспитательный смысл, пропагандируя уважение к сопернику, силу духа и связь с природой.

Материалы и методы.

Для решения поставленных задач был использован комплекс теоретических методов.

1. Анализ научно-методической литературы и нормативных документов: изучены труды ведущих специалистов в области теории и методики физического воспитания, этнопедагогики (И.И. Портнягин, К.С. Чиряев и др.), а также ФГОС ВО, регламентирующие включение регионального компонента в образовательные программы.

2. Педагогическое моделирование: на основе системного подхода была разработана авторская модель элективной дисциплины, включающая целевой, содержательный, процессуальный и оценочный компоненты.

3. Проектирование: разработана примерная учебная программа элективного курса «Якутские национальные виды спорта» объемом 36 часов, адаптированная к семестровой системе обучения.

База исследования: кафедра физического воспитания и спорта СВФУ.

Педагогическое обоснование интеграции ЯНВС в элективные дисциплины СВФУ

Внедрение ЯНВС в учебный процесс СВФУ по элективным дисциплинам физиче-

ской культуры имеет прочное педагогическое обоснование.

• Принцип регионального компонента: согласно Федеральным государственным образовательным стандартам (**ФГОС**), образовательные программы должны учитывать региональные и этнокультурные особенности. Элективные курсы на основе ЯНВС являются прямой реализацией этого принципа.

• Повышение мотивации студентов: новизна и этнокультурная уникальность ЯНВС вызывают повышенный интерес у студенческой молодежи, в том числе у представителей других регионов и стран, что способствует повышению посещаемости и активности на занятиях.

• Формирование этнокультурной идентичности: для якутских студентов занятия национальными видами спорта – это способ приобщения к наследию предков, укрепления чувства принадлежности к своей культуре. Для иногородних и иностранных студентов – это уникальная возможность погрузиться в культурную среду региона.

• Оздоровительный и адаптивный эффект: многие ЯНВС, такие как прыжки и мас-рестлинг, не требуют дорогостоящего оборудования и могут быть адаптированы для студентов с разным уровнем физической подготовки, способствуя их физическому развитию и успешной адаптации к климату Крайнего Севера.

Результаты и их обсуждение

В результате исследования была разработана инновационная модель элективной дисциплины, структурно состоящая из трех модулей.

Модуль 1. Теоретический

Содержание:

История возникновения и развития ЯНВС, их философская и культурологическая основа. Роль ЯНВС в традиционной системе воспитания народа саха. Современное состояние и перспективы развития. Правила соревнований, техника безопасности.

Форма проведения: лекции-семинары с использованием мультимедийных презентаций, видеоанализа соревнований.

Модуль 2. Практический

Содержание:

Мас-рестлинг: изучение техники исходных положений, захватов, отработка силового приема.

Хапсагай: изучение базовых стоек, перемещений, простейших приемов (подсечки, подножки, броски через бедро).

Якутские прыжки: овладение техникой «кылыы», «ыстанга», «куобах» по упрощенной схеме. Специальные подготовительные упражнения.

Общеразвивающие упражнения: комплексы, направленные на развитие силы ног, спины, хвата, координации, специфичных для ЯНВС.

Форма проведения: учебно-тренировочные занятия в спортивном зале.

Модуль 3. Контрольно-соревновательный

Содержание:

Проведение контрольных нормативов по освоению техники. Организация и проведение внутригрупповых и внутривузовских соревнований в формате «День национальных видов спорта».

Форма проведения: зачетное занятие, фестиваль, мини-турнир.

Предложенная модель носит интегративный характер, соединяя в себе образовательный, развивающий и воспитательный компоненты. Внедрение ЯНВС позволяет решить проблему монотонности стандартных занятий по физической культуре и спорта, повысив интерес студентов за счет новизны и культурной уникальности. Развиваемые физические качества (взрывная сила, статическая выносливость, вестибулярная устойчивость) являются компенсаторными для малоподвижного образа жизни, характерного для студенчества.

• Материально-техническое обеспечение: для успешной реализации программы необходима соответствующая база: специализированные борцовские залы с мягким покрытием для хапсагая, оборудование для мас-рестлинга (специальные скамьи и палки), секторы для прыжков и тир для стрельбы из лука. СВФУ уже обладает частью этой инфраструктуры, что является значительным преимуществом.

• Кадровое обеспечение: преподавательский состав должен пройти специальную подготовку или курсы повышения квалификации по методике преподавания ЯНВС. Привлечение к работе известных спортсменов и тренеров-носителей традиций усилит практическую ценность курса.

• Мониторинг эффективности: оценка эффективности курса должна проводиться не только по показателям физического развития (рост силы, выносливости), но и по социоло-

гическим опросам, выявляющим уровень интереса студентов и их удовлетворенность от приобщения к национальной культуре.

Заключение

1. Теоретически обоснована и разработана структурно-содержательная модель элективной дисциплины по якутским национальным видам спорта для СВФУ, включающая три модуля: теоретический, практический и контрольно-соревновательный.

2. Доказано, что интеграция ЯНВС в учебный процесс соответствует принципу регионального компонента ФГОС ВО и способствует решению задач не только физического, но и духовно-нравственного воспитания студенческой молодежи.

3. Для успешной реализации модели необходима организация курсов повышения квалификации для преподавательского состава и дальнейшее укрепление материально-технической базы университета, специализированной под ЯНВС.

Перспективы дальнейших исследований видятся в проведении педагогического эксперимента для апробации разработанной модели и количественной оценки ее эффективности.

Литература

1. Портнягин, И.И. Этнопедагогика народов Севера: теория и практика / И.И. Портнягин. – Якутск : Изд-во СВФУ, 2020. – 189 с.

2. Борохин, М.И. Исследование двигательной активности по месту жительства в сельской местности / М.И. Борохин, В.Н. Логинов, Д.Н. Платонов // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2023. – № 10(151). – С. 58–62.

3. Официальный сайт Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.s-vfu.ru.

References

1. Portnyagin, I.I. Etnopedagogika narodov Severa: teoriya i praktika / I.I. Portnyagin. – YAkutsk : Izd-vo SVFU, 2020. – 189 s.

2. Borokhin, M.I. Issledovanie dvigatelnoj aktivnosti po mestu zhitelstva v selskoj mestnosti / M.I. Borokhin, V.N. Loginov, D.N. Platonov // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : NTF RIM. – 2023. – № 10(151). – S. 58–62.

3. Ofitsialnij sajt Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta im. M.K. Ammosova [Electronic resource]. – Access mode : https://www.s-vfu.ru.

© И.И. Друзьянов, 2026

УДК 796.07:378.016

ДИНАМИКА СФОРМИРОВАННОСТИ ПРИКЛАДНЫХ НАВЫКОВ У СТУДЕНТОВ ФИЗКУЛЬТУРНОГО ФАКУЛЬТЕТА В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

Е.Е. ЕЛАЕВА, А.Р. МАМАЕВ, А.И. МОРОЗКИНА, К.С. АНУФРИЕВ

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева»;
ФГБОУ ВО «Национальный Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева»,
г. Саранск

Ключевые слова и фразы: профессионально-прикладные навыки; динамика; студенты; физкультурный факультет; профессиональная подготовка; компетенции.

Аннотация: В статье представлены результаты лонгитюдного исследования динамики сформированности профессионально-прикладных навыков у студентов факультета физической культуры. Цель исследования – выявить закономерности и особенности развития прикладных навыков у будущих учителей физической культуры и тренеров на протяжении всего периода обучения в вузе. В исследовании приняли участие 87 студентов (с 1 по 4 курс). Методы исследования: педагогическое наблюдение, тестирование профессионально-прикладных навыков (организаторских, коммуникативных, диагностических, проектировочных, двигательно-исполнительских), анкетирование, методы математической статистики. В результате исследования выявлена неравномерная динамика сформированности различных групп прикладных навыков. Наибольший прирост наблюдается в двигательно-исполнительских навыках (1–2 курс) и организаторско-методических навыках (3–4 курс). Коммуникативные и диагностические навыки демонстрируют более плавную положительную динамику на протяжении всего обучения. Установлены критические периоды и «точки роста» в формировании прикладных навыков, что позволяет оптимизировать процесс профессиональной подготовки студентов физкультурного факультета.

Актуальность исследования динамики сформированности прикладных навыков у студентов физкультурного факультета обусловлена необходимостью выявления закономерностей профессионального становления будущего педагога, определения «критических точек» и сенситивных периодов в развитии профессионально значимых умений, оптимизации учебного процесса на основе данных о реальной динамике формируемых компетенций [1; 3].

Цель настоящего исследования – выявить закономерности и особенности развития прикладных навыков у студентов факультета физической культуры на протяжении всего периода обучения в вузе.

Исследование проводилось на базе факультета физической культуры МГПУ имени М.Е. Евсевьева в период с 2021 по 2025 г. В лонгитюдном исследовании приняли участие 87 студентов (48 юношей и 39 девушек), обучающихся по направлению подготовки 49.03.01 Физическая культура, 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями поготовки).

1. Профиль Физическая культура и Безопасность жизнедеятельности.

2. Менеджмент в сфере физической культуры и спорта.

Диагностические срезы проводились ежегодно в конце каждого учебного года. Для оценки сформированности прикладных навыков использовался следующий диагностический инструментарий:

– организаторские навыки: оценка качества проведения фрагмента урока (экспертная оценка), хронометрирование деятельности, тест-опросник организаторских склонностей

Таблица 1. Динамика сформированности прикладных навыков у студентов физкультурного факультета (средний балл, $M \pm \sigma$)

Группа навыков	1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	Прирост (1 → 4 курс)
Двигательно-исполнительские	5,2±1,1	7,1±0,9*	7,8±0,8	8,2±0,7	+3,0
Организаторские	3,8±1,3	4,9±1,2*	6,5±1,1*	7,9±0,9*	+4,1
Коммуникативные	4,1±1,2	5,2±1,1*	6,1±1,0*	7,2±0,9*	+3,1
Проектировочные	3,2±1,4	4,3±1,3*	5,8±1,2*	7,4±1,1*	+4,2
Диагностические	3,5±1,3	4,1±1,2	5,3±1,1*	6,8±1,0*	+3,3

*Примечание: * – различия с предыдущим курсом достоверны ($p < 0,05$)*

(по Л.П. Калининскому);

– коммуникативные навыки: оценка коммуникабельности в процессе педагогической практики, тест-опросник коммуникативных умений (В.В. Синявский, В.А. Федорошин);

– диагностические навыки: решение педагогических ситуационных задач, умение оценивать физическое состояние занимающихся;

– проектировочные навыки: качество разработки конспектов уроков, планов-конспектов тренировочных занятий, календарно-тематических планов;

– двигательно-исполнительские навыки: выполнение нормативов профессионально-прикладной физической подготовки (демонстрация техники упражнений), судейская практика [2; 4; 5].

Оценка производилась по 10-балльной шкале. Статистическая обработка данных осуществлялась с вычислением средних арифметических значений (M), стандартного отклонения (σ) и достоверности различий по t-критерию Стьюдента.

В табл. 1 представлена динамика средних показателей сформированности прикладных навыков у студентов 1–4 курсов.

Анализ полученных данных позволяет выделить следующие закономерности.

1. *Динамика двигательно-исполнительских навыков.*

Наибольший прирост двигательно-исполнительских навыков наблюдается на 1–2 курсах (+1,9 балла, $p < 0,05$). Это объясняется тем, что на начальном этапе обучения в вузе основное внимание уделяется дисциплинам спортивно-педагогического цикла: гимнастика, легкая атлетика, спортивные игры, лыжная подготовка и др. Студенты осваивают технику базовых видов спорта, что непосредственно влияет на их способность качественно демонстрировать упражнения. К 3–4 курсу темпы прироста замедляются, происходит стабилизация и совершенствование техники на более высоком уровне.

2. *Динамика организаторских навыков.*

Организаторские навыки демонстрируют устойчивый и значительный прирост на протяжении всего обучения. Наиболее интенсивный рост зафиксирован на 3 курсе (+1,6 балла), что совпадает с началом активной педагогической практики в школе. Именно в этот период студенты в реальных условиях сталкиваются с необходимостью организовывать деятельность класса, управлять группой, обеспечивать дисциплину и безопасность.

К 4 курсу организаторские навыки достигают высокого уровня (7,9 балла), позволяя выпускникам эффективно решать профессиональные задачи.

3. *Динамика коммуникативных навыков.*

Коммуникативные навыки развиваются равномерно на протяжении всех лет обучения. Достоверный прирост фиксируется ежегодно. Это связано с постепенным накоплением опыта общения: от учебного взаимодействия в академической группе до полноценного педагогического общения с учащимися на практике.

К 4 курсу студенты демонстрируют достаточно высокий уровень коммуникативной компетентности (7,2 балла), необходимый для установления контакта с различными категориями занимающихся.

4. *Динамика проектировочных навыков.*

Проектировочные навыки показывают наибольший суммарный прирост (+4,2 балла). Это связано с накоплением теоретических знаний по методике обучения, теории физической культуры, психологии и педагогике. Резкий скачок на 3–4 курсах обусловлен выполнением курсовых работ, прохождением практики и подготовкой выпускной квалификационной работы, требующих самостоятельного проектирования педагогического процесса.

5. *Динамика диагностических навыков.*

Диагностические навыки развиваются медленнее всего на начальных этапах. Достоверный прирост начинается только с 3 курса, что требует определенного уровня теоретической подготовки и опыта наблюдения.

На 4 курсе эти навыки также достигают значимых значений, позволяя выпускникам проводить педагогический контроль и коррекцию.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– динамика сформированности прикладных навыков у студентов физкультурного факультета носит неравномерный и гетерохронный характер; различные группы навыков имеют свои сенситивные периоды развития;

– двигательно-исполнительские навыки наиболее интенсивно формируются на начальном этапе обучения (1–2 курс), что требует создания условий для качественного освоения техники упражнений уже на младших курсах;

– организаторские и проектировочные навыки демонстрируют максимальный прирост на старших курсах (3–4 курс), что подчеркивает важность своевременного включения студентов в реальную педагогическую деятельность через практику и самостоятельное проектирование;

– коммуникативные и диагностические навыки требуют целенаправленного формирования на протяжении всего периода обучения с усилением акцента на решении ситуационных задач и анализе педагогических ситуаций.

Полученные данные могут служить основой для оптимизации учебного процесса на факультете физической культуры, позволяя распределять акценты в подготовке в соответствии с выявленными закономерностями динамики прикладных навыков.

Литература

1. Алферова, И.А. Профессионально-прикладная физическая подготовка в системе физического воспитания высших учебных заведений / И.А. Алферова // Физическая культура, спорт и здоровье. – 2017. – № 30. – С. 8–10.

2. Горохов, С.В. Методологические подходы в профессиональной подготовке будущих специалистов по физической культуре и спорту / С.В. Горохов, С.А. Яременко // Педагогические науки. – 2024. – № 1. – С. 96–102.

3. Елаева, Е.Е. Динамика физической подготовленности студентов на фоне мониторинга их физических кондиций / Е.Е. Елаева, И.В. Муратова, Н.А. Ромашкина, А.Р. Янгляева // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2024. – № 8(161). – С. 89–93.

4. Елаева, Е.Е. Исследование адаптации студентов в процессе обучения на физкультурном факультете / Е.Е. Елаева, И.В. Муратова, Н.Н. Рузайкина, А.И. Морозкина // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2024. – № 8(161). – С. 93–97.

5. Круцевич, Т.Ю. Методологические подходы к определению проблемного поля профессионально-прикладной физической подготовки / Т.Ю. Круцевич, Л.П. Пилипей // Теория и методика физического воспитания и спорта. – 2011. – № 2. – С. 60–67.

References

1. Alferova, I.A. Professionalno-prikladnaya fizicheskaya podgotovka v sisteme fizicheskogo vospitaniya vysshikh uchebnykh zavedenij / I.A. Alferova // Fizicheskaya kultura, sport i zdorove. – 2017. – № 30. – S. 8–10.

2. Gorokhov, S.V. Metodologicheskie podkhody v professionalnoj podgotovke budushchikh spetsialistov po fizicheskoj kulture i sportu / S.V. Gorokhov, S.A. YAremenko // Pedagogicheskie nauki. – 2024. – № 1. – S. 96–102.

3. Elaeva, E.E. Dinamika fizicheskoj podgotovlennosti studentov na fone monitoringa ikh

fizicheskikh konditsij / E.E. Elaeva, I.V. Muratova, N.A. Romashkina, A.R. YAnglyaeva // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : NTF RIM. – 2024. – № 8(161). – S. 89–93.

4. Elaeva, E.E. Issledovanie adaptatsii studentov v protsesse obucheniya na fizkulturnom fakultete / E.E. Elaeva, I.V. Muratova, N.N. Ruzajkina, A.I. Morozkina // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : NTF RIM. – 2024. – № 8(161). – S. 93–97.

5. Krutsevich, T.YU. Metodologicheskie podkhody k opredeleniyu problemnogo polya professionalno-prikladnoj fizicheskoj podgotovki / T.YU. Krutsevich, L.P. Pilipej // Teoriya i metodika fizicheskogo vospitaniya i sporta. – 2011. – № 2. – S. 60–67.

© Е.Е. Елаева, А.Р. Мамаев, А.И. Морозкина, К.С. Ануфриев, 2026

УДК 37.013.42

К ВОПРОСУ КОРРЕКЦИИ МЕЖЛИЧНОСТНЫХ ОТНОШЕНИЙ В СРЕДЕ ОСУЖДЕННЫХ

Ю.В. ЖИЛЬЦОВА

ФКОУ ВО «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний», г. Рязань

Ключевые слова и фразы: коррекция; межличностные отношения; осужденный; среда; уголовно-исполнительная система.

Аннотация: Актуальность темы исследования заключается в том, что межличностные отношения в среде осужденных представляют собой специфическую область изучения и зависят от множества факторов, включая особенности жизни в исправительных учреждениях, условия депривации, а также психологическое состояние осужденных влияет на то, как формируются и развиваются их межличностные отношения.

Цель исследования – изучить особенности психолого-педагогической коррекции межличностных отношений в среде осужденных.

Задачи исследования: изучить особенности формирования межличностных отношений в среде осужденных; апробировать комплекс методов и методик исследования для изучения межличностных отношений в среде осужденных; проанализировать специфику коррекции межличностных отношений в среде осужденных.

Гипотеза исследования: психолого-педагогическая программа, направленная на снижение уровня конфликтности, агрессивного поведения и повышение эмоционального интеллекта, будет способствовать коррекции межличностных отношений в среде осужденных.

Методы исследования – анонимное анкетирование с использованием опросных листов, методика оценки психологической атмосферы в коллективе А.Ф. Фидлера, опросник межличностных отношений В. Шутца и опросник уровня агрессивности Басса – Перри.

Достигнутые результаты – в исследовании приняли участие 64 осужденных, содержащихся в отряде хозяйственного обслуживания ФКУ СИЗО-3 ГУФСИН России по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области. Было выявлено, что межличностные отношения в среде осужденных играют ключевую роль в процессе их социальной адаптации и реабилитации к условиям исправительного учреждения. Негативные взаимодействия усугубляют конфликтные ситуации, способствуют рецидиву и препятствуют успешной интеграции в общество после освобождения.

В ходе исследования были выявлены эффективные методы психолого-педагогической коррекции, такие как групповые тренинги, ролевые игры и индивидуальные консультации. Эти методы способствуют развитию навыков общения, эмпатии и разрешения конфликтов.

В современных условиях развития российского общества значительное внимание уделяется гуманизации уголовно-исполнительной системы (**УИС**) и повышению эффективности ресоциализации осужденных. Исследование к вопросу коррекции межличностных отношений в среде осужденных приобретает особое значение. Полученные данные в ходе исследования к вопросу коррекции межличностных отношений в среде осужденных должны использоваться для разработки и внедрения эффективных программ психолого-педагогической коррекции межличностных отношений среди осужденных.

Данное исследование предназначено для оказания практической помощи сотрудникам исправительных учреждений, психологам, пе-

дагогам и социальным работникам для повышения эффективности работы по ресоциализации осужденных и снижению уровня конфликтности в среде отбывания наказания. Проанализировав научно-теоретические подходы в психолого-педагогических исследованиях В.Г. Деева, А.И. Ушатикова, О.Г. Ковалева, Е.Н. Казаковой, О.А. Майорова, В.М. Позднякова, Э. Берна, Л. Вермсера, Ст. Грофа, Г. Кристал, А. Менегетти, Э. Ханзян, Н. Пезешкиана, Д.В. Сочивко, Ю.Ю. Красиковой, Е.Е. Гавриной к решению проблемы межличностных отношений в среде осужденных в условиях исправительного учреждения, можно сделать вывод, что коррекция межличностных отношений в исправительном учреждении для осужденных является комплексным подходом, который зависит от множества факторов, включая психологические, социальные и культурные. Понимание этих процессов имеет большое значение для разработки эффективных программ реабилитации и социальной адаптации осужденных. Создание благоприятной среды и поддержание позитивных межличностных отношений внутри исправительных учреждений могут существенно изменить жизнь осужденных и снизить рецидив преступлений [1, с. 610].

Основная задача в организации психолого-педагогической коррекции межличностных отношений в среде осужденных направлена на развитие навыков общения, эмпатии и разрешения конфликтов, что позволяет улучшить динамику межличностных отношений, способствует успешной реинтеграции осужденных в общество после освобождения и выстраивает межличностные отношения с другими осужденными [2, с. 184]. Прежде всего, эту работу следует начинать с развития навыков конструктивного общения, со снятия агрессивного поведения, конфликтности, формирования эмпатии и понимания, перестройки социальных норм и ценностей. Одновременно выявляются среди обследованных осужденных лица с повышенной тревожностью, склонностью к аффективным реакциям, с низким уровнем самоконтроля; отмечается заниженная самооценка, неумение конструктивно решать конфликты [3, с. 118].

Эмпирическое исследование специфики коррекции межличностных отношений в среде осужденных к условиям исправительного учреждения проводилось в три этапа:

1) информационно-аналитический, в ходе которого осуществлялся подбор необходимых методик для исследования уровня адаптации;

2) эмпирический – сбор эмпирического материала по данным методикам, получение результата;

3) обобщающий – обобщение и анализ полученных результатов, выводы по исследованию.

В своем исследовании нами был применен следующий психодиагностический инструментарий: анонимное анкетирование с использованием опросных листов, методика оценки психологической атмосферы в коллективе А.Ф. Фидлера, опросник межличностных отношений В. Шутца и опросник уровня агрессивности Басса – Перри.

Выборка для исследования состояла из 64 осужденных, содержащихся в отряде хозяйственного обслуживания ФКУ СИЗО-3 ГУФСИН России по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области.

На первом этапе исследования респондентам было предложено анкетирование с использованием опросных листов. По итогам было установлено, что у 15 % осужденных, содержащихся в группе, отмечаются межличностные взаимоотношения в своей среде как сплоченные, с наличием взаимопомощи и взаимоподдержки; у 20 % респондентов – нейтральные, спокойные отношения в своей среде; у 45 % – безразличные, «каждый сам за себя»; 20 % указывают на конфликтные отношения.

Далее проведена оценка психологической атмосферы в коллективе с помощью методики А.Ф. Фидлера. Анализируя результаты исследования, было выявлено, что 14 человек считают психологическую атмосферу в коллективе достаточно благоприятной, 18 человек оценивают ее, как не очень благоприятную. Итоговый показатель суммы всех параметров равен 37,28, что говорит о том, что в целом атмосфера в коллективе приближена к положительному критерию (положительному критерию соответствует коэффициент 35).

Далее представлены результаты изучения межличностных отношений, полученных при помощи методики В. Шутца в модификации А.А. Рукавишникова. По итогам было установлено, что стремление принимать остальных, быть членом группы, участвовать в совместной деятельности (*Ie*) в низкой степени проявляется у 25 % опрошенных, на среднем уровне – у 37,5 %, на высоком уровне эти качества проявляются у 37,5 % осужденных.

По результатам диагностики агрессии Басса – Перри в экспериментальной группе прослеживаются следующие результаты: имеется 5 человек с высоким показателем агрессивности, что составляет 15 % от общего числа наблюдаемых в группе, эти участники демонстрирует высокий уровень, что может указывать на наличие конфликтных тенденций или повышенной эмоциональной реактивности. Выявлено 17 человек (53 %) со средним уровнем агрессии и 10 человек (32 %) с низким. Завышенный показатель «проявления гнева» обнаружен у 4 человек (13 %). 13 человек (40 %) – со средними показателями проявления гнева, оставшиеся 15 человек (47 %) – с низким показателем.

Далее была проведена диагностика межличностных отношений в контрольной группе. На 5 % уменьшилось количество человек, которые позиционируют отношения в коллективе, как «безразличные», и на 5 % увеличилось количество человек, которые описывают отношения, как нейтральные. Стоит отметить, что произошедшие изменения являются незначительными, уровень удовлетворенности взаимоотношениями среди осужденных по-прежнему остался низким.

Далее проведена оценка психологической атмосферы в коллективе с помощью методики А.Ф. Фидлера. Анализируя результаты исследования, было выявлено, что в контрольной группе 15 человек считают психологическую атмосферу в коллективе благоприятной и 17 человек оценивают ее, как не очень благоприятную. Итоговый показатель суммы всех параметров равен 36, что, как и в экспериментальной группе, говорит о том, что атмосфера в коллективе приближена к положительному критерию.

Далее рассмотрим результаты изучения межличностных отношений, полученных при помощи методики В. Шутца. По итогам было установлено, что положительных и отрицательных изменений в межличностных взаимодействиях не выявлено, это свидетельствует о стабильности межличностных отношений в данной группе.

Результаты по «Тесту агрессивности» Басса – Перри в контрольной группе практически не изменились, показатель физической агрессии остался прежним – 4 человека (12 %) с высоким показателем агрессивности, 15 человек (47 %) со средним уровнем агрессии, и 13 человек (41 %) с низким. Показатели «проявления гнева» немного изменились у 2 человек (6%), завышенный показатель перешел в разряд среднего, низкие показатели остались на том же уровне. По шкале «враждебность» замечена обратная тенденция, увеличилось количество человек с высоким показателем на 3 % (1 человек), средние показатели враждебности демонстрируют 16 человек – это 50 %, низкие – 14 человек (44 %). В данном случае изменения можно считать незначительными.

Таким образом, проведенное эмпирическое исследование позволяет сделать вывод о том, что особенности к вопросу психолого-педагогической коррекции межличностных отношений в среде осужденных показывают, что адекватная коррекция деструктивных коммуникаций способствует не только социальному и эмоциональному развитию осужденных, но и их интеграции в общество после освобождения. Программы психолого-педагогического сопровождения осужденных направлены на снижение уровня агрессии, формирование более гармоничного социального окружения в условиях лишения свободы. Психолого-педагогические программы, ориентированные на развитие навыков общения, эмпатии и разрешения конфликтов, включающие в себя такие методы психолого-педагогической коррекции, как групповые тренинги, ролевые игры и индивидуальные консультации, могут стать эффективным инструментом для изменения динамики межличностных отношений в этой среде. Так, групповые тренинги в среде осужденных имеет значительное влияние на формирование межличностных отношений. Создание поддерживающей и безопасной атмосферы в группе позволяет участникам открыто обсуждать свои проблемы и находить пути их решения.

Учет индивидуальных психологических характеристик осужденных, таких как уровень агрессии, самооценка и социальные навыки, является важным аспектом в процессе коррекции. Персонализированный подход позволяет более эффективно работать с каждым участником.

Развитие эмпатии у осужденных является важным аспектом коррекции межличностных отношений. Участие в тренингах, направленных на понимание эмоций других людей, способствует формированию более здоровых и конструктивных взаимодействий. Эмпатия помогает осужденным осознать последствия своих действий и улучшить отношения как с другими осужденными, так и с персоналом учреждений.

Таким образом, психолого-педагогическая коррекция не только влияет на текущие межличностные отношения, но и закладывает основы для будущих социальных взаимодействий.

Литература

1. Белисова, А.А. Понятие межличностных отношений и их развитие / А.А. Белисова, С.В. Васерман, Е.А. Кронштатова, Л.Н. Мишенева, Н.И. Николаева, Г.И. Богомолова // Теория и практика современной науки. – 2018. – № 4(34). – С. 610–615.

2. Биндасова, О.В. Взаимосвязь показателей эмпатии с типами просоциального поведения и асоциальными личностными чертами осужденных за убийство / О.В. Биндасова // Вестник Академии МВД Республики Беларусь. – 2022. – № 1(43). – С. 184–188.

3. Вилкова, А.В. Анализ эмпирического исследования межличностных отношений в среде осужденных / А.В. Вилкова, Д.В. Лукашенко // Уголовно-исполнительная система: право, экономика, управление. – 2023. – № 3. – С. 18–23.

References

1. Belisova, A.A. Ponyatie mezhlichnostnykh otnoshenij i ikh razvitie / A.A. Belisova, S.V. Vaserman, E.A. Kronshtatova, L.N. Misheneva, N.I. Nikolaeva, G.I. Bogomolova // Teoriya i praktika sovremennoj nauki. – 2018. – № 4(34). – S. 610–615.

2. Bindasova, O.V. Vzaimosvyaz pokazatelej empatii s tipami prosotsialnogo povedeniya i asotsialnymi lichnostnymi chertami osuzhdennykh za ubijstvo / O.V. Bindasova // Vestnik Akademii MVD Respubliki Belarus. – 2022. – № 1(43). – S. 184–188.

3. Vilkova, A.V. Analiz empiricheskogo issledovaniya mezhlichnostnykh otnoshenij v srede osuzhdennykh / A.V. Vilkova, D.V. Lukashenko // Ugolovno-ispolnitelnaya sistema: pravo, ekonomika, upravlenie. – 2023. – № 3. – S. 18–23.

© Ю.В. Жильцова, 2026

УДК 372.881.111.1

Developing University Students' English Listening Skill Through Flipped Classroom and Metacognitive Strategies: Conceptual Foundations

MOHSENI NIARI FATEMEH, O.V. BUKACH

Kazan (Volga Region) Federal University,
Kazan

Key words and phrases: flipped classroom; metacognition; listening strategies.

Abstract: This study aims to form conceptual foundations for incorporating flipped classroom and metacognitive instruction to foster university EFL learners' listening skills. Its objectives include synthesizing 20 recent studies to identify key developments and propose a structured three-phase approach. It is hypothesized that metacognitive awareness positively affects learners' EFL listening performance in flipped classrooms. The results revealed four themes: pre-class priming, in-class activation, post-task reflection, outcomes and barriers. The study is novel in demonstrating how equipping flipped classroom learners with metacognitive awareness transforms EFL listening gains. The paper concluded by proposing a structured three-phase approach for implementing these strategies in flipped classroom contexts. Directions for future research were also provided.

Introduction

Listening skills, being a foundational factor in language learning, still remain a challenge for students (Zulfikar, Aulia, & Akmal, 2020). This paper argues that the flipped classroom approach combined with metacognition bridges this gap by enabling instructors to have deeper in-class opportunities for real-life comprehension practice. This study aims to address this research question: How does flipped classroom approach, through its distinct phases, facilitate metacognitive listening strategy development among university level EFL learners? It proposes a structured three-phase approach for university instructors by analyzing how the phases of flipped classroom approach operationalize learners' metacognitive listening strategies.

Literature review

Traditional classroom approaches often restrict students to passive listening, which impedes the development of key strategies needed for real-world understanding (Goh & Vandergrift, 2021). Despite AI advancements in 2026, core EFL listening challenges stay the course. AI tools such as ELSA Speak and SpeechAce assist in pronunciation feedback but face challenges with natural conversation speed, unique accents and inference making (Yue, 2026).

Flipped classroom approach

Flipped classroom approach or the flipped classroom model, reverses the traditional lecturing by engaging the students with the content before class (Bergmann & Sams, 2023). This way, class time is freed up for interactive activities, discussions and higher-level tasks. This model establishes in-take at each student's own pace through podcasts, TED talks or subtitled videos and lectures while prioritizing collaborative problem solving in class, leading to improved listening comprehension (Etemadfar et al., 2020, Mohseni Niari & Sadykova, 2025) and lowered anxiety (Qiu & Luo, 2022).

Metacognitive awareness in EFL

Metacognitive awareness is defined as learners' conscious understanding where they tune their own cognitive processes (Flavell, 1979). Research indicates that this type of awareness can directly foster academic motivation (Abdelrahman, 2020), and writing skill levels (Murtadho, 2021). Regarding the listening skills, metacognitive awareness leads to significant gains in EFL listening comprehension, with studies reporting strong links be-

#	Code	Example Studies
1	Flipped video priming	Azarniyoosh & Roohani (2025)
2	Goal-setting plans	Rezaeyan et al. (2025)
3	MALQ questionnaire	Azarniyoosh & Roohani (2025),
4	Reflective journals	Huang (2025)
5	Listening posttest gains	Etemadfar & Soozandehfar (2020)

Fig. 1. Examples of the initial codes accompanied by studies

tween MALQ scores and performance (Fu et al., 2023), predominance of metacognitive scaffolding (Ahmadi Safa & Motaghi, 2024), and flipped learning effects on awareness and strategy use (Azarniyoosh & Roohani, 2025).

Methods

This research employed a qualitative thematic synthesis approach based on Braun & Clarke (2021), compiling articles from Web of Science, Scopus, and Google Scholar databases. The time period was selected as 2020 to 2025 to derive recent insights. Inclusion criteria targeted EFL contexts explicitly addressing "flipped teaching/learning/classroom approach," "metacognitive strategies," and "listening skill". The screening process identified 78 articles. Later, 20 studies with the strongest methodology and pedagogical value were finalized manually to deliver straightforward and actionable insights. Regional diversity was also taken into account (Asia: n = 12; Europe, Middle East: n = 8) to reinforce the generalizability of the findings.

Results and Discussion

The thematic analysis of the 20 studies generated inductive codes that coalesced into four salient themes, each demonstrating robust prevalence across the corpus. Fig. 1 showcases examples of the initial codes and their respective articles. This iterative approach yielded the four following themes.

Pre-class metacognitive priming

The first theme emerged from the majority of articles, as flipped videos and podcasts primed planning before the class. For instance, Shih and Huang (2020) explored Taiwanese university learners' use of metacognitive strategies in flipped classrooms. Learners reviewed videos before classes and applied the knowledge in activities in class, identifying learning outcomes and peer learning as key factors affecting their use of metacognitive strategies. Similarly, Azarniyoosh and Roohani (2025) investigated MALQ gains through the use of flipped classroom. The results uncovered those learners who received the flipped treatment used higher-order metacognitive strategies, compared to their non-flipped peers. In an attempt to empower Iranian EFL learners, Etemadfar et al. (2020) investigated the effects of flipped classroom on students' listening comprehension through peer discussions and Q&As. The findings highlighted the positive correlation between flipped classroom approach and student's listening gains, as well as learning satisfaction.

In-class strategy activation

Forms of collaborative monitoring emerged in 56 % of the studies. Bui and Johnson (2024) qualitatively looked into university students' perceptions towards metacognition and self-regulation in Vietnamese flipped classrooms. The results of their study illuminated students' low level of metacognition and self-regulation. However, students compensated for this shortcoming by engaging in collaborative monitoring activities such as giving and receiving face-to-face feedback, help-seeking and sharing extra materials with their peers. This study once again highlighted that even the best flipped classroom approaches fail to assist students unless metacognition is explicitly supported (Dewi et al., 2025). Further, Öztürk & Çakıroğlu (2021) structured explicit self-regulated learning (**SRL**) listening strategies. Although there were listening score gains, this skill plateaued relative to other skills such as writing and reading. These findings execute Vygotsky's (1978) peer mediation.

Post-task reflection and evaluation

The most pervasive theme consolidated metacognitive growth through journals, planners and tools alike. Öztürk & Çakıroğlu (2021) employed self-reflection forms after the flipped sessions for

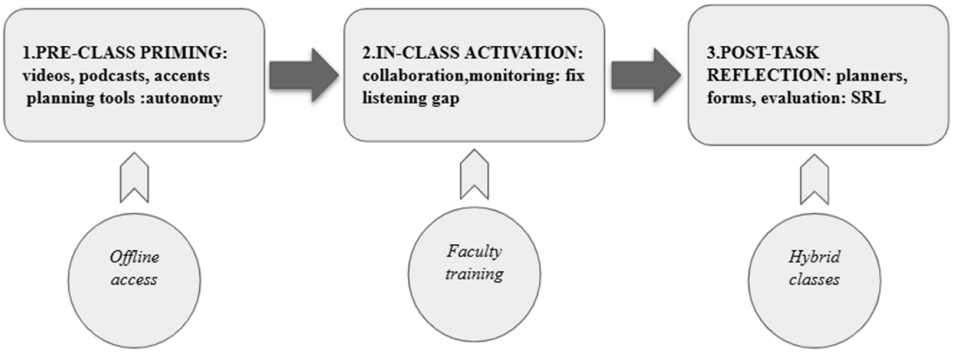


Fig. 2. Structured three-phase approach for EFL listening improvement

their 49 participants at a Turkish university. Experimental group students (n = 25) completed explicit self-evaluative forms articulating reasons for listening success, directly employing Zimmerman's (2000) SRL reflection phase. Students identified inefficient strategies, experimented with alternative ones and analysed their listening performance, transforming immediate task feedback into long-term strategy transfer. Al Abdali & Kew (2024) investigated Omani students' metacognitive listening strategies awareness through the MALQ in an 18-week blended learning course with online listening materials and face-to-face strategy instruction, mirroring the pre-class priming of flipped classroom. Of their responses to MALQ, students indicated that they highly evaluated their own listening performance and satisfaction. Shih & Huang (2020) analysis of students' written feedback revealed that flipped classroom empowers students' self-regulated learning and self-discipline through learning expectations and peer learning. Similarly, Azarniyoosh & Roohani (2025) used listening diaries to sustain 40 students' self-reflection. They concluded that the treatment led to increased autonomy and control of learning processes, directly highlighting Zimmerman's (2000) SRL reflection phase where learners perform self-judgements by evaluating their performance compared to specific standards.

Outcomes and implementation barriers

Finally, 75 % of studies reported improved listening gains as a result of flipped classroom and metacognitive strategies instruction. Key barriers were also documented. Mukhiddinovna (2025) noted digital tools' access levels and cultural views on authority as factors easing the implementation of flipped listening classroom. Fallahian et al. (2025) reported that their experimental group using flipped-inspired technological tools (e.g., audio, visuals and games for listening practice), performed lower than the metacognitive scaffold group. These findings reinforce Vygotsky's (1978) scaffolded mediation within the Zone of Proximal Development (**ZPD**), where listening gains are tempered by faculty training gaps and access to technology. Based on the implications of this study for university EFL programs, short 10–15 minute podcasts followed by 45-minute strategy-focused face-to-face sessions may be an effective alternative as it also aids intermediate B1-B2 learners struggling with speech rate and unfamiliar accents (Ahmadi Safa & Motaghi, 2024).

Structured three-phase metacognitive-flipped approach

As such, the current review demonstrated the role of flipped classroom approach in operationalizing Goh & Vandergrift's (2021) MALQ framework in order to answer the research question. Addressing the RQ, this study demonstrated that flipped classroom approach equipped with metacognitive strategies created a robust foundation for further EFL listening improvement, as evidenced across the three dominant phases. The following structured three-phase approach (Fig. 2) is proposed with accompanying recommendations. These recommendations address implementation barriers.

Phase 1: Pre-class metacognitive priming. Pre-class metacognitive priming activated the planning and person knowledge aspects of the MALQ framework through tools such as videos, podcasts and authentic materials with a variety of English accents. This enables learners to proactively use planning strategies (e.g., previewing, goal-setting) and person knowledge (e.g., self-efficacy assessment, prior knowledge activation) and gain cogni-

tive control over their learning before entering the class. Recommendation: Ensuring tech access via subsidized devices and offline materials (downloadable audio, transcripts, PDFs, QR-coded worksheets) in order to bridge the accessibility gaps.

Phase 2: In-class strategy activation. In-class sessions involve monitoring, problem-solving and evaluation MALQ aspects by means of collaborative monitoring, help-seeking, self-evaluation rubrics and instructor feedback. This phase enables dynamic strategy deployment in communicative contexts. Recommendation: Supporting faculty development courses focused on flipped classroom and metacognitive instruction, and scaffolding strategies within learners' ZPD, ensuring instructors possess both technical and strategy competence.

Phase 3: Post-task reflection and evaluation. Post-task reflection and evaluation, the most pervasive theme, leverages digital planners, reflective forms to lead to long-term strategy transfer. Learners log strategy effectiveness and comprehension growth, evaluating their self-regulated listening development through repeated reflection cycles.

Recommendation: institutional adoption of hybrid approaches blending online instruction and in-person classes, enabling seamless strategy reinforcement.

Conclusions

This synthesis explored the effect of flipped classroom approach on metacognitive listening strategies of university EFL learners, demonstrating consistent listening performance gains.

The outlined three-phase approach provides educators with concrete, actionable guidance to foster listening skills in higher education settings.

This study had some limitations as well. It relied on secondary data from 20 studies only, which may pose a selection bias. In addition, the heterogeneity of the sample studies precluded robust meta-analytic quantification of effect sizes reported.

Longitudinal studies on sustainability of the listening proficiency and strategy retention might also address the current gaps in long-term efficacy.

References

1. Abdelrahman, R.M. Metacognitive awareness and academic motivation and their impact on academic achievement of Ajman University students. Heliyon, 2020 6(9).
2. Ahmadi Safa, M. Cognitive vs. metacognitive scaffolding strategies and EFL learners' listening comprehension development / M. Ahmadi Safa, F. Motaghi // Language Teaching Research. – 2024. – Vol. 28(3). – P. 987–1010.
3. Al Abdali, F.M. The Effectiveness of Blended Learning in Enhancing Students' Listening Comprehension and Metacognitive Listening Skills in Oman / F.M. Al Abdali, S.N. Kew // Proceedings of the 11th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion, 2024. – P. 105–114.
4. Azarniyoosh, S. The effectiveness of the flipped learning model in improving second/foreign language metacognitive listening awareness and strategy use / S. Azarniyoosh, A. Roohani // European Journal of Education. – 2025. – Vol. 60(1). – P. e12841.
5. Bergmann, J., & Sams, A. (2023). Flip your classroom, revised edition: Reach every student in every class every day. ASCD.
6. Birova, L., Ruiz-Cecilia, R., & Guijarro-Ojeda, J. R. (2023). Flipped classroom in EFL: a teaching experience with pre-service teachers. Frontiers in Psychology, 14, 1269981.
7. Braun, V., & Clarke, V. (2021). Thematic analysis: A practical guide.
8. Bui, T. H., & Johnson, N. F. (2024). Self-regulation and metacognition in a flipped classroom: EFL students' perspectives at a Vietnamese university. Issues in Educational Research, 34(1), 19–36.
9. Dewi, R.C., Yanti, P.G., & Tarmini, W. (2025). The Impact of the Integration of Metacognitive Strategy in the Flipped Classroom Model on Vocational High School Students' Writing Skill, Writing Anxiety, and Writing Self-Efficacy. International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 24(2), 133–152.
10. Etemadfar, P., Soozandehfar, S.M.A., & Namaziandost, E. (2020). An account of EFL learners' listening comprehension and critical thinking in the flipped classroom model. Cogent Education, 7(1), 1835150.
11. Fallahian, E., Tabatabaei, O., Salehi, H., & Dastjerdi, H.V. (2025). Effects of Motivational,

Metacognitive, and Technology-Based Scaffolding on Listening Ability of Iranian ESP Students. Journal of New Trends in English Language Learning (JNTELL), 4(4).

12. Flavell, J.H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. American psychologist, 34(10), 906.

13. Fu, Y., Wang, M., Min, S., Zhou, S., & Pan, X. (2023). Exploring the relationship between metacognitive awareness and Chinese EFL learners' listening skills. Frontiers in Psychology, 14, 1148610.

14. Goh, C.C., & Vandergrift, L. (2021). Teaching and learning second language listening: Metacognition in action. Routledge.

15. Jung, H. (2024). Enhancing L2 Listening Proficiency and Metacognitive Awareness through Self-Annotation in High School EFL. English Teaching, 79(3), 31–59.

16. Mohseni Niari, F., & Sadykova, G.V. (2025). The Role of Flipped Teaching Method in Improving English Learners' Listening Skill in University. Global Scientific Potential, (2), 142–144.

17. Mukhiddinovna, D. (2025). Digital access and instructional scaffolding in flipped EFL listening: A pedagogical perspective. World Science: Problems and Innovations, 9(1), 212–220.

18. Murtadho, F. (2021). Metacognitive and critical thinking practices in developing EFL students' argumentative writing skills. Indonesian Journal of Applied Linguistics, 10(3), 656–666.

19. Öztürk, M., & Çakıroğlu, Ü. (2021). Flipped learning design in EFL classrooms: implementing self-regulated learning strategies to develop language skills. Smart Learning Environments, 8(1), 2.

20. Qiu, Y., & Luo, W. (2022). Investigation of the effect of flipped listening instruction on the listening performance and listening anxiety of Chinese EFL students. Frontiers in Psychology, 13, 1043004.

21. Shih, H.C.J., & Huang, S.H.C. (2020). College students' metacognitive strategy use in an EFL flipped classroom. Computer Assisted Language Learning, 33(7), 755–784.

22. Vygotsky, L.S., & Cole, M. (1978). Mind in society: Development of higher psychological processes. Harvard university press.

23. Yue, F. (2026). Does Integrating Artificial Intelligence into EFL Instruction Improve Learners' Listening Proficiency? Evidence from a Meta-analysis of Quasi-experimental Studies. Academic Journal of Humanities & Social Sciences, 9(1).

24. Zimmerman, B.J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In Handbook of self-regulation (pp. 13–39). Academic press.

25. Zulfikar, Z., Aulia, C.T., & Akmal, S. (2020). Exploring EFL students problems in listening to English news broadcasts. Language Literacy: Journal of Linguistics, Literature, and Language Teaching, 4(2), 340–352.

© Mohseni Niari Fatemeh, O.V. Bukach, 2026

УДК 796.814

ОЦЕНКА УРОВНЯ КООРДИНАЦИОННОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СТУДЕНТОВ-САМБИСТОВ НА ЭТАПЕ НАЧАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

М.В. НИКИШКИН

ФГБОУ ВО «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва

Ключевые слова и фразы: координация; самбо; студенты; физическая культура; спорт.

Аннотация: В статье представлены результаты исследования уровня координационной подготовленности студентов-самбистов на этапе начальной подготовки. Цель исследования – оценить уровень координационной подготовленности студентов-самбистов на этапе начальной подготовки. Задачи исследования: провести диагностику статического равновесия, динамической координации и быстроты простой реакции; выявить наиболее и наименее развитые компоненты координационных способностей у студентов 1 курса, не имевших опыта занятий единоборствами. Гипотеза исследования заключалась в предположении, что исходный уровень координационной подготовленности у студентов-самбистов на этапе начальной подготовки является неоднородным, при этом наибольшие трудности будут связаны с поддержанием статического равновесия. В работе использовались следующие методы: анализ научно-методической литературы, педагогическое тестирование (проба Ромберга, челночный бег 4×10 м, тест «Ловля падающей линейки») и методы математической статистики. Исследование проведено на базе учебных отделений НИУ МГСУ, в нем приняли участие 60 студентов 1 курса 2025 г. набора, ранее не занимавшихся единоборствами. Результаты исследования показали, что наименее развитым компонентом координационной подготовленности является статическое равновесие: среднее время удержания позы в пробе Ромберга составило 10,2±1,8 с, что соответствует низкому уровню. Показатели динамической координации (челночный бег 4×10 м – 10,5±0,7 с) находятся на среднем уровне, а быстрота простой реакции (тест «Ловля падающей линейки» – 23,4±3,5 см) оценивается как уровень ниже среднего. Полученные данные подтвердили выдвинутую гипотезу и свидетельствуют о необходимости включения в тренировочный процесс начинающих самбистов специализированных упражнений, направленных на совершенствование проприоцептивной чувствительности и стабильности.

Современная система подготовки спортсменов в единоборствах, и в частности в самбо, предъявляет высокие требования к уровню развития координационных способностей уже на начальных этапах многолетней тренировки. Это обусловлено сложно-координационной структурой соревновательной деятельности в самбо, где двигательные действия реализуются в условиях жесткого лимита времени, противодействия соперника, постоянного изменения ситуаций и необходимости оперативного выбора оптимальных технико-тактических решений. Координационные способности, представляющие собой совокупность свойств центральной нервной системы и нервно-мышечного аппарата, определяющих точность, быстроту, своевременность и рациональность выполнения двигательных актов, выступают в качестве ключевого фактора, лимитирующего успешность освоения базовой техники самбо.

Этап начальной подготовки является фундаментом, на котором базируется дальнейшее технико-тактическое мастерство, поскольку именно координационная подготовленность обеспечивает точность, своевременность и рациональность двигательных действий в ус-

Таблица 1. Результаты тестирования координационных способностей студентов-самбистов НИУ МГСУ (n = 60)

№ п/п	Тест	Назначение теста	Средний результат
1	Проба Ромберга (с)	Статическое равновесие	10,2 ± 1,8
2	Челночный бег 4×10 м (с)	Динамическая координация и быстрота смены направления	10,5 ± 0,7
3	Тест «Ловля падающей линейки» (см)	Быстрота простой реакции	23,4 ± 3,5

ловиях вариативной и часто непредсказуемой соревновательной деятельности. Особую актуальность этот вопрос приобретает при работе со студенческой молодежью, приступившей к занятиям самбо после завершения школьного образования и не имеющей предшествующего опыта в единоборствах. В таких случаях критически важно объективно оценить исходный уровень координационных способностей, чтобы выявить «слабые звенья» и грамотно спланировать тренировочный процесс. В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования явилась оценка уровня координационной подготовленности студентов-самбистов на этапе начальной подготовки.

В данном исследовании применялись следующие научные методы: анализ научно-методической литературы, педагогическое тестирование студентов 1 курса, методы математической статистики.

Исследование проводилось на базе учебных отделений НИУ МГСУ. Нами были обследованы студенты 1 курса, ранее не занимавшиеся единоборствами. В исследовании приняло участие 60 студентов 1 курса 2025 г. набора. Все испытуемые на момент тестирования не имели спортивных разрядов по самбо или другим видам единоборств. Тестирование проводилось в стандартных условиях спортивного зала в течение недели по единому протоколу.

Тестирование состояло из трех тестов, направленных на различные компоненты координации, в совокупности обеспечивающие целостную картину двигательных возможностей спортсмена.

– Проба Ромберга. Применяется для оценки статического равновесия спортсмена. Удержание устойчивой позиции в стойке, особенно при подготовке и проведении бросков, выполнение бросков с длительным выходом на неустойчивую позицию, а также сохранение баланса при противодействии соперника напрямую зависят от способности спортсмена тонко чувствовать свое тело в пространстве без зрительного контроля. Как указывают специалисты в области биомеханики и спортивной подготовки (например, в работах В.М. Зациорского, Н.А. Бернштейна), статическое равновесие является основой для любого сложнокоординационного действия.

– Челночный бег 4×10 м. Данный тест был применен для оценки динамической координации и способности к быстрой смене направления движения. Данный тест является моделью двигательной активности, характерной для поединка. Самбисту в ходе схватки постоянно приходится совершать резкие перемещения вперед, назад и в стороны, атакуя, уходя от атак или меняя позицию. Исследования в области теории и методики спортивных единоборств (А.А. Новиков, М.П. Шестаков) подчеркивают, что «взрывные» изменения направления являются критически важным качеством для успешного ведения борьбы в партере и в стойке.

– Тест «Ловля падающей линейки». Этот тест был использован для оценки быстроты простой реакции на зрительный раздражитель и зрительно-моторной координации. Как отмечается в психофизиологических исследованиях (Е.П. Ильин), тренировка простой реакции создает базу для развития более сложных ее форм.

Результаты педагогического тестирования, характеризующие уровень развития ключевых координационных способностей студентов представлены в табл. 1.

Анализ данных таблицы показывает, что наименее развитым компонентом координационной подготовленности у испытуемых является способность к поддержанию статического равновесия. Среднее время удержания позы в пробе Ромберга составило 10,2±1,8 секунды,

что соответствует низкому уровню подготовленности для данного контингента. Этот результат свидетельствует о недостаточно развитой проприоцептивной чувствительности и слабости мышц-стабилизаторов.

В контексте самбо, где выполнение бросков и борьба за устойчивость являются ключевыми элементами, выявленный дефицит является критическим. Данный факт подтверждает выводы А.А. Жолдасбая о том, что низкий уровень координации, и в частности равновесия, напрямую влияет на качество освоения базовой техники бросков [2].

Показатели динамической координации, оцененные с помощью теста «челночный бег 4×10 м», находятся на среднем уровне (10,5±0,7 с). Это говорит о том, что общая двигательная активность студентов позволяет им достаточно эффективно управлять телом в пространстве при изменении направления движения. Для самбиста способность к резкой смене траектории движения, как верно отмечают А.А. Новиков и М.П. Шестаков, является фундаментальной для создания атакующих моментов и защитных действий в схватке.

Результаты теста «Ловля падающей линейки» (23,4±3,5 см), оцениваемые как уровень ниже среднего, указывают на недостаточную скорость простой зрительно-моторной реакции. Это базовое качество, как отмечает Е.П. Ильин, служит основой для формирования сложных сенсомоторных реакций, крайне важных в единоборствах для своевременного реагирования на действия соперника. Полученные данные свидетельствуют о необходимости целенаправленной работы над улучшением быстроты реакции. Исследование помогло оценить уровень координационной подготовленности студентов 1 курса.

Общий уровень координационных способностей является неоднородным и может влиять на темпы усвоения новой техники. Наиболее значимое отличие выявлено в развитии статического равновесия (проба Ромберга – 10,2±1,8 с), что свидетельствует о низком уровне развития проприоцептивной чувствительности и мышечной стабильности, являющихся базой для выполнения бросков и сохранения устойчивости.

Показатели динамической координации и скорости простой реакции находятся в пределах нормы, но они также требуют дальнейшего совершенствования для улучшения уровня спортивной подготовленности студентов.

Полученные данные подтверждают необходимость включения в тренировочный процесс начинающих самбистов специализированного блока упражнений, направленного в первую очередь на развитие статического и динамического равновесия (использование нестабильных платформ, выполнение упражнений с закрытыми глазами), а также на повышение скорости простой и сложной реакции.

Литература

1. Алиханов, И.И. Методические рекомендации по дальнейшему совершенствованию тактического мастерства борцов / И.И. Алиханов. – М. : Физкультура и спорт, 2012. – 105 с.

2. Жолдасбай, А.А. Влияние координационной подготовленности юных самбистов на качество освоения базовой техники на этапе начальной подготовки / А.А. Жолдасбай // Дневник науки. – 2024. – № 1(85).

3. Кожанов, В.В. Развитие двигательно-координационных способностей борцов-самбистов на этапе начальной подготовки / В.В. Кожанов, Т.В. Антонова // Актуальные проблемы физической культуры и спорта : материалы VI международной научно-практической конференции, Чебоксары, 17 ноября 2016 года / Под ред. Г.Л. Драндрова, А.И. Пьянзина. – Чебоксары : Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2016. – С. 351–354.

4. Кондаков, А.М. Совершенствование технико-тактической подготовки самбистов 11–12 лет средствами специальных координационных упражнений с учетом весовых категорий / А.М. Кондаков // Омский научный вестник. – 2010. – № 2(86). – С. 202–206.

5. Никишкин, В.В. Профессиограмма заболеваний студентов НИУ МГСУ / В.В. Никишкин, М.В. Никишкин, Н.Н. Бумарскова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 10(181). – С. 95–97.

References

1. Alikhanov, I.I. Metodicheskie rekomendatsii po dalnejshemu sovershenstvovaniyu takticheskogo masterstva bortsov / I.I. Alikhanov. – M. : Fizkultura i sport, 2012. – 105 s.

2. ZHoldasbaj, A.A. Vliyanie koordinatsionnoj podgotovlennosti yunykh sambistov na kachestvo osvoeniya bazovoj tekhniki na etape nachalnoj podgotovki / A.A. ZHoldasbaj // Dnevnik nauki. – 2024. – № 1(85).

3. Kozhanov, V.V. Razvitie dvigatelno-koordinatsionnykh sposobnostej bortsov-sambistov na etape nachalnoj podgotovki / V.V. Kozhanov, T.V. Antonova // Aktualnye problemy fizicheskoj kultury i sporta : materialy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, CHeboksary, 17 noyabrya 2016 goda / Pod red. G.L. Drandrova, A.I. Pyanzina. – CHeboksary : CHuvashskij gosudarstvennij pedagogicheskij universitet im. I.YA. YAkovleva, 2016. – S. 351–354.

4. Kondakov, A.M. Sovershenstvovanie tekhniko-takticheskoj podgotovki sambistov 11–12 let sredstvami spetsialnykh koordinatsionnykh uprazhnenij s uchetom vesovykh kategorij / A.M. Kondakov // Omskij nauchnij vestnik. – 2010. – № 2(86). – S. 202–206.

5. Nikishkin, V.V. Professiogramma zabolevanij studentov NIU MGSU / V.V. Nikishkin, M.V. Nikishkin, N.N. Bumarskova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 10(181). – S. 95–97.

© М.В. Никишкин, 2026

УДК 37

АКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ СПЛОЧЕННОСТИ СРЕДИ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ

С.В. РОЖКОВ, О.Б. АНОШКИНА, Е.В. АНАШКИНА, О.Г. ЧУЙКОВА

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева», г. Саранск

Ключевые слова и фразы: физическая культура; спорт; студенчество; коллективная сплоченность; мотивация; нравственное и физическое воспитание.

Аннотация: В данной статье рассматриваются современные методы повышения уровня коллективного взаимодействия и сплоченности среди студентов в процессе занятий физической культурой. Анализируются педагогические подходы, направленные на формирование позитивного психологического климата и развития чувства взаимоподдержки внутри студенческих групп. Особое внимание уделяется разработке и реализации комплексных методик, включающих элементы работы в команде, соревновательные и игровые формы активности, способствующие укреплению межличностных связей.

Цель исследования – на основе эксперимента для заложения коллективной сплоченности внутри студенческого коллектива выявить и рассмотреть специальные методы проведения занятий физической культуры.

Задачи исследования: а) провести анализ научной литературы; б) рассмотреть влияние занятий по физической культуре на степень коллективной сплоченности у студенческих групп; в) выработать специальную программу тренировки для выявления уровня организованности у студентов на занятиях по физической культуре.

Гипотеза исследования – в ходе задействования специальных элементов укрепления отношений студенческой группы во время занятий физической культуры достичь выработки таких качеств, как организованность, содействие, надежность и уверенность в ближнем.

В ходе работы использовались такие методы, как обзор литературы, педагогический эксперимент, анализ и обработка данных.

С позиции физической культуры и спорта коллективная сплоченность является одним из значимых явлений в образовательном процессе. Стремительное совершенствование учебных программ направлено на развитие не только физических качеств, но и на физическое воспитание. Во время образовательного процесса студентам приходится проходить через стрессовые моменты, вызванные важностью адаптации к современным реалиям образования.

Занятия физической культурой служат уникальной возможностью для укрепления психоэмоционального здоровья, улучшения самочувствия и гармонизации отношений внутри студенческого общества.

Физическая культура в высшем учебном заведении является неотъемлемой частью формирования общей и профессиональной культуры личности современного человека [2].

Участие в спортивно-массовых мероприятиях помогает студентам глубже узнавать свою роль в команде, развивает самостоятельную ответственность, а также помогает продуктивно взаимодействовать и успешно справляться с задачами в сотрудничестве с однокурсниками.

Как отмечают отечественные ученые, в процессе увлечения физической культурой студент учится слаженной работе в команде, фор-

мирует и развивает у себя чувство ответственности перед другими ее членами [1].

Физкультура может значительно способствовать созданию позитивной атмосферы, поскольку занятия обычно интерактивны и ориентированы на работу в команде. Для того чтобы улучшить отношения между участниками и повысить чувство единства в группах, используют разные методы и подходы. Рассмотрим главные из них.

Основными способами развития коллективного духа и воспитания на уроках физкультуры являются командные игры и соревнования. Они способствуют укреплению доверия между участниками, развивают соревновательный дух и здоровую конкуренцию, что в итоге помогает достичь хорошей слаженности и эффективности в работе команды. К популярным командным играм относятся мини-футбол, волейбол, эстафеты, настольный теннис, бадминтон и другие.

По словам И.М. Евдокимова, спортивные игры и физические упражнения рассматриваются как эффективное средство физического воспитания и развития физических качеств студентов [3].

С целью развития командного духа внутри студенческих групп мы использовали дополнительные способы совершенствования данного качества. Одним из таких способов послужила игра под названием «Группы». Суть данной игры заключается в том, чтобы студенты перемещались в хаотичном порядке по определенной территории, дожидаясь от преподавателя объявления конкретного числа. После этого студенты должны собраться в мини-группы. К примеру, преподаватель называет число 5, следовательно студенты должны сформировать маленькие группы конкретно из пяти человек.

В целях влияния данного способа на развитие коллективной сплоченности у студентов нами был проведен педагогический эксперимент, в ходе которого приняло участие 20 студентов второго курса медицинского института МГУ имени Н.П. Огарева. Эксперимент проводился с целью выявления таких качеств, как командный дух, взаимоподдержка, ответственность и дисциплина.

На протяжении трех месяцев (12 занятий) после стандартных упражнений в конце занятий мы проводили данную игру со студентами. По истечении заданного времени (3 месяца) мы сделали следующие выводы:

а) в процессе занятий у студентов в значительной мере изменился в лучшую сторону моральный климат;

б) уровень командного духа вырос относительно начальной фазы эксперимента;

в) степень ответственности перед коллективом значительно увеличилась по сравнению с началом эксперимента;

г) во время и после занятий студенты испытывали положительные эмоции, что еще раз доказывает положительное влияние данной игры.

Игра «Группы» способствует укреплению командного духа внутри студенческого коллектива, мотивирует вовлеченность в занятия физической культурой, а также активизирует здоровое соперничество между обучающимися в ходе учебного процесса.

Участие преподавателя в учебном процессе вместе со своими студентами способствует выработке коллективной сплоченности, положительной атмосферы и мотивации к занятиям физической культурой.

Во время занятий нами было проведено исследование, в процессе которого преподаватель принимал участие в играх со студентами. На протяжении пяти занятий студенты активно соперничали, старались достичь победы, объединялись в группы с целью обсуждения стратегий для достижения желаемого результата.

К примеру, небольшая группа студентов из 10 человек соперничала с преподавателем в игре по броскам баскетбольного мяча в кольцо. Правило игры заключалось в том, что тот, кто из двух человек забросит больше мячей из десяти попыток, тот победил. Проигравшему было необходимо сделать на выбор следующие элементы: отжимания, планка, подтягивания, приседания.

Таким образом, вовлеченность самого преподавателя в учебный процесс по физической культуре существенно влияет на коллективную сплоченность студентов. Во время занятий растет уровень содействия, взаимоподдержки, и в особенности мотивации к занятиям.

Как отмечают отечественные ученые, процесс формирования интереса к занятиям физической культурой и спортом – это не одномоментный, а многоступенчатый процесс: от первых элементарных гигиенических знаний и навыков до глубоких психофизиологических знаний теории и методики физического воспитания и интенсивных занятий спортом [4].

Преподавателям необходимо на постоянной основе совершенствоваться, постигать новые методы и подходы, внимательно относиться к студентам и быть открытыми к диалогу.

В конце также стоит отметить еще один немаловажный метод сплочения студентов в процессе учебного процесса, который предполагает коммуникационный подход. Как правило, во время занятий физической культурой многие преподаватели сталкиваются с проблемой недостаточной степени взаимодействия со студентами.

Низкий уровень коммуникации отрицательно отражается на результатах занятий. Обычно это происходит из-за недостаточной подготовки преподавателя к взаимодействию, дефицита инициативы и желания студентов или преподавателя к активной коммуникации.

В ходе эксперимента было задействовано две группы (2 курс) студентов Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева. Принцип работы предусматривал:

а) активное обсуждение вопросов и предложений студентов относительно программы занятий;

б) привлечение студентов к оценке качества проводимых занятий;

в) поддержание коммуникации с использованием электронной почты или мессенджеров.

В ходе эксперимента был отмечен рост вовлеченности студентов в активные формы работы, такие как соревнование, конкурс и командные игры.

Открытая коммуникация поспособствовала своевременному выявлению проблем и устранению недочетов, модернизируя учебный процесс.

Стоит отметить, что интернет-коммуникация между студентами и преподавателем стала активно развиваться в условиях глобализации. Теперь о расписании занятий, их отмене или переносе можно своевременно узнавать через специальные беседы, участниками которых являются студенты и сам преподаватель.

Таким образом, основные результаты исследования включают: увеличение показателей психологической комфортности за счет применения различных командных игр; развитие навыков взаимодействия; рост мотивации к занятиям физической культурой на основе соревновательного эффекта; формирование коммуникативной компетенции благодаря общению студент-преподаватель.

Данный эксперимент подтвердил гипотезу исследования о воздействии специальных форм и методов проведения занятий физической культурой с акцентом на коллективную сплоченность студентов.

Литература

1. Айвазова, Е.С. Занятия физической культурой и спортом как инструмент социализации студентов / Е.С. Айвазова, А.И. Родионова // Вестник науки и образования. – 2022. – № 5(125). – С. 18–21.

2. Брыксина, И.О. Занятия по физической культуре в вузе как путь формирования физической культуры у человека / И.О. Брыксина, А.Е. Илюшина, Е.В. Серженко // Наука-2020. – 2019. – № 2(27). – С. 46–53.

3. Евдокимов, И.М. Различные спортивные игры и физические упражнения как средство роста продуктивности занятий по физической культуре в вузе / И.М. Евдокимов // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2024. – № 3. – С. 137–140

4. Кондабаева, В.В. Мотивация к занятиям физической культурой и спортом у студентов высших учебных заведений / В.В. Кондабаева, Е.В. Кетриш // Валеопедагогические проблемы здоровьеформирования детей, подростков, молодежи, населения : сборник материалов XVIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, студентов, магистрантов. – Екатеринбург, 2022. – С. 65–70.

References

1. Ajvazova, E.S. Zanyatiya fizicheskoj kulturoj i sportom kak instrument sotsializatsii studentov / E.S. Ajvazova, A.I. Rodionova // Vestnik nauki i obrazovaniya. – 2022. – № 5(125). – S. 18–21.

2. Bryksina, I.O. Zanyatiya po fizicheskoj kulture v vuze kak put formirovaniya fizicheskoj kultury

u cheloveka / I.O. Bryksina, A.E. Ilyushina, E.V. Serzhenko // Nauka-2020. – 2019. – № 2(27). – S. 46–53.

3. Evdokimov, I.M. Razlichnye sportivnye igry i fizicheskie uprazhneniya kak sredstvo rosta produktivnosti zanyatij po fizicheskoj kulture v vuze / I.M. Evdokimov // Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoj kultury i sporta. – 2024. – № 3. – S. 137–140

4. Kondabaeva, V.V. Motivatsiya k zanyatiyam fizicheskoj kulturoj i sportom u studentov vysshikh uchebnykh zavedenij / V.V. Kondabaeva, E.V. Ketrish // Valeopedagogicheskie problemy zdoroveformirovaniya detej, podrostkov, molodezhi, naseleniya : sbornik materialov XVIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii molodykh uchenykh, studentov, magistrantov. – Ekaterinburg, 2022. – S. 65–70.

С.В. Рожков, О.Б. Аношкина, Е.В. Анашкина, О.Г. Чуйкова, 2026

УДК 37

ИНТЕГРАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ БОКСЕРСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В СТРУКТУРУ ЗАНЯТИЙ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

А.Р. РЯХМЯТУЛЛОВ, Е.А. ШУНЯЕВА

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева», г. Саранск

Ключевые слова и фразы: физическая культура; физическое воспитание; бокс; тренировка; образовательный процесс.

Аннотация: В статье рассматривается возможность внедрения специализированных элементов спортивной тренировки по боксу в образовательную программу физической культуры в высших учебных заведениях.

Целью исследования является создание методического концепта интеграции специализированных элементов из бокса в образовательный процесс по физической культуре в вузе.

Задачи исследования: рассмотрение текущей обстановки физического воспитания в отечественных вузах; исследование воздействия специализированной подготовки боксеров на развитие физических навыков студентов; создание методики внедрения элементов спортивной тренировки боксеров в образовательный процесс вузов; оценка результатов предложенной модели путем экспериментального исследования.

Методика исследования основана на следующих способах: теоретический анализ научной литературы, педагогическое наблюдение, педагогический эксперимент, обработка данных.

Гипотеза исследования подразумевает внедрение специализированных упражнений по боксу в занятия по физической культуре, что обусловлено повышением мотивации студентов, улучшению показателей общей физической подготовленности и развитию спортивных навыков.

Физическая культура занимает важное место в укреплении здоровья и сбалансированного развития студентов, обеспечивая увеличение показателей работоспособности, профилактику различных заболеваний и улучшение общего самочувствия. Тем не менее традиционные способы ведения занятий зачастую ограничены стандартными методами, что влечет за собой снижение интереса и эффективности учебного процесса.

«Студенчество мало уделяет внимания двигательной активности, предпочитая углубляться в образовательный процесс, не тратя время на физические упражнения, что приводит к снижению уровня физического здоровья» [5].

Одним из амбициозных направлений модернизации структуры физического воспитания в вузах является интеграция специализированных видов спорта для универсального физического развития, в нашем случае это бокс.

По словам ученых, «в физическом воспитании студентов вуза силовые упражнения могут быть использованы с внешним дополнительным сопротивлением (гантели, штанга, тренажеры и т.д.) и с весом собственного тела в качестве дополнительного сопротивления» [2]. По словам некоторых исследователей, «на занятиях со студентами следует с осторожностью применять те упражнения, которые могут отрицательно повлиять на формирование профессионально важных двигательных навыков» [3].

Физическая культура играет одну из ключевых ролей в учебном процессе любого вуза, поскольку способствует укреплению здоровья, развитию выносливости, силы. Тем не менее традиционные методы обучения зачастую огра-

ничены стандартными дисциплинами, такими как бег, легкая атлетика, гимнастика. Для модернизации качества занятий имеется возможность внедрения специализированных упражнений из сферы бокса, позволяющих студентам развивать важные физические умения.

По словам отечественных исследователей, «сочетание упражнений из бокса, модернизируемых и объединенных с современными средствами из фитнес-технологий, способствует повышению мотивации студентов на активные занятия физической культурой и спортом и двигательной активности» [1].

В течение двух месяцев на базе МГУ имени Н.П. Огарева было проведено исследование с участием группы из 25 человек.

Участники были разделены на две подгруппы: контрольную, которая обучалась по стандартной модели, и экспериментальную, в рамках которой дополнительно выполнялись специализированные боксерские элементы (всего проведено 8 занятий).

Модель занятий с элементами боксерской тренировки состояла из следующих блоков упражнений.

1. Разминочные упражнения, включающие в себя растяжку мышц верхних и нижних конечностей.

2. Элементы для развития скорости и реакции. Например, выполнение упражнения «бой с тенью».

3. Укрепление мышечного корсета. Комплекс упражнений для мышц пресса, спины и плеч, среди которых гиперэкстензия, упражнение «лодочка», статические упражнения.

4. В процессе занятий активно осуществлялась отработка техники, изучалась правильная постановка ног и корпуса, происходило освоение ударной техники, выполнялись упражнения на развитие координационных способностей.

5. Одним из основных пунктов развития физических способностей студентов было развитие выносливости. В данном процессе были задействованы беговые упражнения и интервальные нагрузки, а также круговые тренировки.

Помимо того, что круговая тренировка является уникальным методом модернизации учебного процесса, она способствует развитию физического состояния и увеличивает показатели мышечной выносливости студентов.

По словам некоторых исследователей, «желательно, чтобы на каждой тренировке студенты смогли задействовать все основные группы мышц за 1,5 часа, и для этого отлично подходит круговая тренировка» [4].

После завершения данного исследования была проведена оценка ключевых значений физической оснащенности обеих групп. Так, экспериментальная группа показала высокие результаты по сравнению с основной. Студенты экспериментальной группы продемонстрировали большие успехи:

– во-первых, во время упражнений на растяжку улучшилось положение спины;

– во-вторых, при выполнении наклонов до пола ноги оставались прямыми в процессе всего упражнения;

– в-третьих, отработка специального боксерского элемента «бой с тенью» поспособствовала развитию реакции и выносливости, студенты стали выполнять различные упражнения на протяжении длительного времени (например, то же самое упражнение «бой с тенью» в самом начале занятий студенты осиливали от 30 до 50 секунд, на восьмом занятии некоторые из участников могли выполнять данное упражнение более 2-х минут);

– в-четвертых, использование упражнений на укрепление кора и закачивания поясничного отдела (гиперэкстензия, «лодочка») поспособствовали увеличению длительности упражнения «планка». По сравнению с началом эксперимента и концом, время удерживания корпуса увеличилось до одной минуты;

– в-пятых, метод круговой тренировки, в процессе которого применялись 5–6 различных упражнений (бег на месте + круговые движения вокруг с головы с весом, прыжки на месте, «берпи», «скалолаз», «бой с тенью»), поспособствовал развитию высокой интенсивности и плотности тренировочного занятия, что сыграло важную роль в совершенствовании учебного процесса.

«Преподавание нетрадиционных видов спорта может также стимулировать учащихся к повышению их активности и помочь им узнать о различных культурах» [6].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что специальная методика проведения занятий по физической культуре в вузе с элементами боксерской тренировки посодействовала увеличению физических показателей у студентов, а также помогла значительно модернизировать образовательный процесс. Внедре-

ние специализированных боксерских упражнений в учебные программы по физической культуре подтверждает важность современных подходов к формированию занятий, ориентируемых на полноценное развитие студентов, их готовность к ведению здорового образа жизни.

Литература

1. Бородкина, Д.Р. Фитнес-тренинг на основе занятий боксом у студентов на занятиях по физической культуре в вузе / Д.Р. Бородкина, А.И. Раковецкий // Вестник науки. – 2023. – № 11(68). – С. 821–826.
2. Заплатина, Н.Ю. Метод круговой тренировки в процессе физического воспитания студентов в вузе / Н.Ю. Заплатина, Л.К. Федякина, Ж.Г. Кортава // Символ науки. – 2022. – № 1. – С. 32–33.
3. Зиннатнуров, А.З. Совершенствование методики подготовки боксеров в условиях физкультурного вуза / А.З. Зиннатнуров, А.А. Зиннатнурова // Вестник спортивной науки. – 2022. – № 4. – С. 4–8.
4. Карачева В.С. Применение метода круговой тренировки на элективных курсах по физической культуре в вузе / В.С. Карачева, В.С. Цымбалюк, В.Н. Кулезнев, З.В. Курасбедиани // Форум молодых ученых. – 2017. – № 5. – С. 963–967.
5. Позняк, Ж.А. Содержание фитнес-бокса в рамках учебной дисциплины «физическая культура» со студентами медицинских специальностей / Ж.А. Позняк, В.Е. Позняк // Известия ТулГУ. – 2024. – Вып. 5. – С. 34–40.
6. Севодин, С.В. Физическое воспитание как часть физической культуры / С.В. Севодин, Е.С. Тагаев // Вестник науки и образования. – 2019. – № 1. – 1–3.

References

1. Borodkina, D.R. Fitnes-trening na osnove zanyatij boksom u studentov na zanyatiyakh po fizicheskoj kulture v vuze / D.R. Borodkina, A.I. Rakovetskij // Vestnik nauki. – 2023. – № 11(68). – S. 821–826.
2. Zaplatina, N.YU. Metod krugovoj trenirovki v protsesse fizicheskogo vospitaniya studentov v vuze / N.YU. Zaplatina, L.K. Fedyakina, ZH.G. Kortava // Simvol nauki. – 2022. – № 1. – S. 32–33.
3. Zinnatnurov, A.Z. Sovershenstvovanie metodiki podgotovki bokserov v usloviyakh fizkulturnogo vuza / A.Z. Zinnatnurov, A.A. Zinnatnurova // Vestnik sportivnoj nauki. – 2022. – № 4. – S. 4–8.
4. Karacheva V.S. Primenenie metoda krugovoj trenirovki na elektivnykh kursakh po fizicheskoj kulture v vuze / V.S. Karacheva, V.S. TSymbalyuk, V.N. Kuleznev, Z.V. Kurasbediani // Forum molodykh uchenykh. – 2017. – № 5. – S. 963–967.
5. Poznyak, ZH.A. Soderzhanie fitnes-boksa v ramkakh uchebnoj distsipliny «fizicheskaya kultura» so studentami meditsinskikh spetsialnostej / ZH.A. Poznyak, V.E. Poznyak // Izvestiya TulGU. – 2024. – Vyp. 5. – S. 34–40.
6. Sevodin, S.V. Fizicheskoe vospitanie kak chast fizicheskoj kultury / S.V. Sevodin, E.S. Tagaev // Vestnik nauki i obrazovaniya. – 2019. – № 1. – 1–3.

© А.Р. Ряхмятуллов, Е.А. Шуняева, 2026

УДК 37

АДАПТАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ФИТНЕС-УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ В ВУЗЕ

Е.А. САФОНОВ, С.В. РОЖКОВ

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева», г. Саранск

Ключевые слова и фразы: физическая культура; фитнес-индустрия; вуз; техника выполнения; упражнения; преподаватель.

Аннотация: В данной статье рассматривается процесс внедрения специализированных упражнений из сферы фитнеса в программу занятий по физической культуре в вузах. Акцентируется внимание на современном состоянии структуры физического воспитания и дефиците целого комплекса специализированных упражнений, характерных для фитнес-индустрии, которые могли бы значительно разнообразить традиционную систему подготовки студентов.

Также в работе приводится классификация различных фитнес-упражнений и анализируется возможность их интеграции в учебный процесс. Выделяются положительные стороны адаптированного плана занятий, который включает в себя традиционные формы физической подготовки с элементами функционального тренинга, йоги и других популярных видов.

Целью данного исследования является разработка и апробация методологии адаптации специализированных фитнес-упражнений для использования их на занятиях по физической культуре в вузе.

Задачи исследования: рассмотреть различные специализированные фитнес-упражнения и выявить потенциальную пригодность для использования их на занятиях по физической культуре; разработать программу интегрированных занятий с использованием специализированных фитнес-упражнений; апробировать разработанную модель на выборке студентов, изучив их реакцию и степень физической подготовленности; дать оценку влияния интегрированных занятий на показатели здоровья и мотивации студентов.

Гипотеза исследования: применение специализированных упражнений из сферы фитнеса в комплексе интегрированных занятий по физической культуре в высших учебных заведениях позволит увеличить степень физической подготовки, улучшить функциональные показатели здоровья и повысить мотивационные навыки студентов к постоянным физическим нагрузкам.

Методы исследования: теоретический анализ литературы, педагогический эксперимент, социологический опрос, наблюдение.

Современные реалии высшего образования говорят о повышенных требованиях к степени физической подготовленности студентов, что обусловлено активным ритмом жизни, высокими умственными нагрузками и желанием сохранения здоровья. Учебные программы большинства вузов включают обязательные курсы по физической культуре, необходимые для обеспечивания основных знаний и умений, однако зачастую применяемые планы оказываются недостаточно эффективными для удовлетворения запросов студентов.

Физическая культура представляет собой одно из неотъемлемых слагаемых культуры человека в обществе, которое имеет своей основой преобразование в направленное использование двигательной деятельности в качестве фактора оптимизирующих воздействий на фи-

зическое развитие человека [5].

Одним из актуальных трендов в последнее время стало широкое распространение специализированных фитнес-упражнений, направленных на оздоровление населения и популяризацию здорового образа жизни.

Большое количество фитнес-центров предлагают широкий выбор услуг, таких как пилатес, стретчинг, функциональный и силовой тренинги, аэробику и др.

Исходя из выводов исследователей, различные виды фитнеса в физкультурно-оздоровительной деятельности студентов пользуются наибольшей популярностью, отличаются доступностью и положительным эмоциональным фоном в проведении, большим многообразием средств и методов [3].

Однако в контексте традиционной структуры физического воспитания в вузах данные методы используются довольно редко. Причиной этого являются дефицит необходимой инфраструктуры, отсутствие специальной классификации у преподавателей. Тем не менее поэтапное внедрение некоторых перспективных методов в учебный процесс кажется вполне возможным и целесообразным решением.

По мнению отечественных исследователей, включение в классический учебный план элементов фитнеса повышает интерес студентов к физической культуре в целом. Как следствие, это влечет за собой увеличение посещаемости занятий, что также несет положительный характер [2].

В данной работе предпринята попытка проанализировать вопрос адаптации специализированных фитнес-упражнений для использования их в процессе занятий физической культурой. Ключевое внимание уделено определению критериев выбора конкретных упражнений, разработке практических рекомендаций по их введению в традиционную программу образовательного процесса и оценке их эффективности.

Согласно отечественным исследованиям, на всем протяжении занятия физической культурой возможно внедрение тех или иных фитнес-технологий. Занятия должны проходить в три этапа: разминка, основная и заключительная части. Целесообразно заранее спланировать законченный комплекс упражнений [5].

Существует целое обилие направлений из сферы фитнеса, которые можно внедрить в программу занятий по физической культуре в высших учебных заведениях, среди которых круговые тренировки, занятия в тренажерном зале, растяжка, йога.

Преподавание физической культуры в университете является одним из важных способов развития спорта и физической подготовки студентов [1].

Перечисленные виды фитнеса имеют специфические черты, которые необходимо качественно рассмотреть перед внедрением в учебный процесс. Профессиональная компетентность определяется степенью оснащенности специальным оборудованием, а также требованиями безопасности. Следовательно, важен индивидуальный подход к подбору и адаптации программ под потребности студентов.

Для исследования эффективности применения упражнений из фитнес-направлений на занятиях по физической культуре была разработана специальная программа тренировочного процесса.

На базе МГУ имени Н.П. Огарева мы провели эксперимент, который занял около двух месяцев. Участниками данного исследования стала группа студентов, состоящая из 22-х человек. Нам было необходимо за определенное время научить студентов правильной постановке и реализации техники выполнения специальных упражнений из сферы фитнеса. В данном исследовании программа занятия включала в себя следующие фазы.

1. Фаза подготовки – это начальный этап тренировочного процесса, который включает в себя легкий бег, растяжку и беговые упражнения для разогревания мышц.

2. Основная фаза тренировки включала в себя комплекс элементов, направленных на развитие функциональных качеств. Комплекс состоял из приседаний с акцентом на технику, удержания планки в течение 30 секунд, скручивания в положении полусидя, маховых движений ногами в статичном положении, а также из выпадов вперед и назад.

3. Фаза завершения характеризуется качественной растяжкой для восстановления, нормализации дыхательного ритма, выполнения плавных наклонов корпуса вниз с сохранением прямых ног.

Исходя из результатов эксперимента, можно отметить, что на первоначальном этапе подготовки большинство студентов испытывали значительные проблемы с выполнением специальных упражнений.

1. 12 студентов испытывали проблемы с расположением стоп и колен во время приседаний. Дело в том, что их колени выходили за пределы носков, что негативно повлияло на выполнение данного упражнения.

2. В процессе выполнения упражнения «планка» у 10 студентов наблюдался подъем таза и согнутая спина.

3. В ходе осуществления выпадов 18 студентов теряли равновесие и допускали технические ошибки.

4. 15 студентов при выполнении скручиваний касались ногами пола.

По итогам проведенного эксперимента на протяжении двух месяцев нами было установлено, что большинство студентов показали значительный прогресс при выполнении заданных упражнений из сферы фитнеса. Благодаря слаженной работе преподавателей и студентов техника выполнения элементов приблизилась к идеальной у 6 человек, 10 человек показали средний уровень выполнения, остальные 6 человек находились на том же уровне, что и на начальном этапе.

Так, например, при выполнении упражнения «планка» у 5 человек исправилась осанка, таз оставался на одной плоскости со спиной, а время удержания увеличилось с 40 секунд до 1,5 минуты.

Во время выпадов у 4-х участников наблюдалась правильная техника выполнения, остальные испытывали трудности при положении корпуса и постановки ног.

С приседаниями справилось 11 студентов, остальные не смогли полноценно выполнить упражнение. У пяти человек колени выходили за переделы носков, у шести человек была круглая спина.

Таким образом, применение упражнений из сферы фитнеса в преподавании физической культуры в вузах является необходимым направлением в системе образования. Проведенный эксперимент показал, что студенты, занимающиеся по программе, приближенной к фитнесу, проявляют больший интерес к занятиям, по сравнению с традиционной. Это говорит о том, что развитие данного направления поможет модернизировать учебный процесс, и в будущем студенты станут посещать занятия на постоянной основе.

Литература

1. Глазунова, С.И. Комплексное сочетание фитнес-технологий на занятиях по физической культуре в вузе / С.И. Глазунова, М.В. Борисова, А.Ю. Мусохранов // Научное обозрение. – 2022. – № 3. – С. 20–24.

2. Еременко, В.Н. Фитнес-программы в системе занятий по физической культуре в вузе / В.Н. Еременко, В.А. Питкин, О.В. Синько, Т.А. Гришко // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2021. – № 5(195). – С. 126–131.

3. Иванов, В.Д. Фитнес-программы в системе занятий по физической культуре в вузе / В.Д. Иванов, Н.А. Салькова // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. – 2019. – № 2. – С. 49–59.

4. Раздуненкова, А.Н. Различные направления фитнеса на занятиях по физической культуре в вузе / А.Н. Раздуненкова, Е.В. Калинкина // Наука-2020. – № 6(60). – С. 85–93.

5. Рожков, С.В. Лечебная физическая культура при заболеваниях позвоночника / С.В. Рожков, А.Н. Наумкин, Т.С. Наумкина, О.Б. Аношкина // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2023. – № 1(160). – С. 198–200.

References

1. Glazunova, S.I. Kompleksnoe sochetanie fitnes-tekhnologij na zanyatiyakh po fizicheskoj kulture v vuze / S.I. Glazunova, M.V. Borisova, A.YU. Musokhranov // Nauchnoe obozrenie. – 2022. – № 3. – S. 20–24.

2. Eremenko, V.N. Fitnes-programmy v sisteme zanyatij po fizicheskoj kulture v vuze / V.N. Eremenko, V.A. Pitkin, O.V. Sinko, T.A. Grishko // Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta. – 2021. – № 5(195). – S. 126–131.

3. Ivanov, V.D. Fitnes-programmy v sisteme zanyatij po fizicheskoj kulture v vuze / V.D. Ivanov, N.A. Salkova // Fizicheskaya kultura. Sport. Turizm. Dvigatelnaya rekreatsiya. – 2019. – № 2. –

S. 49–59.

4. Razdunenkova, A.N. Razlichnye napravleniya fitnesa na zanyatiyakh po fizicheskoj kulture v vuze / A.N. Razdunenkova, E.V. Kalinkina // Nauka-2020. – № 6(60). – S. 85–93.

5. Rozhkov, S.V. Lechebnaya fizicheskaya kultura pri zabolevaniyakh pozvonochnika / S.V. Rozhkov, A.N. Naumkin, T.S. Naumkina, O.B. Anoshkina // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2023. – № 1(160). – S. 198–200.

© Е.А. Сафонов, С.В. Рожков, 2026

УДК 372.851

ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГРАМОТНОСТИ ИНТЕРАКТИВНЫМИ СРЕДСТВАМИ: ПРИЕМЫ И МЕТОДЫ, ИХ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Д.Н. ЧЕТВЕРТНОВ, И.А. ПИНЧУК

ФГАОУ ВО «Государственный университет просвещения», г. Москва

Ключевые слова и фразы: математическая грамотность; интерактивные технологии; цифровое обучение; математическое образование; метапредметные компетенции; дидактические средства.

Аннотация: В статье рассматривается проблема формирования математической грамотности школьников посредством интерактивных средств обучения. Цель исследования заключается в анализе потенциала интерактивных средств обучения, систематизации эффективных методов их применения и объективной оценке преимуществ и ограничений данного подхода в современной образовательной практике. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи исследования: раскрыть сущность математической грамотности как комплексного качества личности, определить потенциал интерактивных технологий в формировании математической грамотности, систематизировать основные интерактивные средства обучения математике, исследовать практические аспекты применения интерактивных методов, оценить влияние интерактивных технологий на мотивацию учащихся и развитие метапредметных компетенций. Гипотеза исследования предполагает, что использование интерактивных методов обучения в сочетании с традиционными подходами способствует более эффективному формированию математической грамотности учащихся. Методы исследования включали анализ научно-методической литературы, изучение нормативных документов, систематизацию существующих подходов, мониторинг эффективности применяемых методик, практический анализ опыта образовательных организаций.

Полученные результаты показали, что применение интерактивных средств обучения повышает мотивацию к изучению математики, способствует развитию метапредметных компетенций, обеспечивает индивидуализацию обучения, формирует навыки рефлексии, устанавливает связь теории с практикой. Исследование подтвердило эффективность комплексного подхода, сочетающего интерактивные и традиционные методы обучения, при условии грамотного внедрения и учета специфики образовательного процесса.

Как базовая составляющая школьного образования, математика играет важнейшую роль в интеллектуальном развитии учащихся – она тренирует логику, учит выстраивать алгоритмы действий и способствует формированию научного мировоззрения.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью формирования объективных условий для модернизации образовательной системы. Этот процесс проявляется в обогащении школьной программы: появляются инновационные компоненты содержания обучения и внедряются прогрессивные педагогические технологии. Анализ современной педагогической практики показывает, что, несмотря на известность интерактивных образовательных средств, их потенциал в школьном образовании используется далеко не в полной мере. Во многих случаях учителя либо применяют их эпизодически, либо вовсе не включают в арсенал своих профессиональных инструментов [6, с. 82].

Цель статьи: проанализировать потенциал интерактивных средств в формировании математической грамотности школьников, система-

тизировать эффективные приемы и методы их применения, а также объективно оценить преимущества и ограничения данных подходов в современной образовательной практике.

Теоретическую базу составили анализ научно-методической литературы по проблеме формирования математической грамотности школьников, изучение нормативных документов и методических рекомендаций ФИПИ, а также систематизация существующих подходов к организации применения интерактивных средств обучения. Практическая база исследования была сформирована на основе опыта работы образовательных организаций, применяющих современные образовательные технологии в преподавании школьной программы по математике.

Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования (**ФГОС ООО**) указывает на важность приведения содержания и методов школьного образования в соответствие с актуальными запросами времени, что позволит обеспечить подготовку учащихся к жизни и деятельности в условиях быстро меняющегося мира [1].

Под математической грамотностью мы понимаем интегративное качество личности, включающее владение базовыми математическими понятиями и операциями, умение моделировать реальные ситуации с помощью математического аппарата, способность интерпретировать математические результаты в контексте практической задачи, навыки аргументации и обоснования принимаемых решений. Н.Ф. Левашова уточняет, что под математической функциональной грамотностью следует подразумевать способность личности использовать приобретенные математические знания для решения задач в различных сферах [7, с. 208]. По мнению Г.В. Мазневой и Ю.С. Репринцевой, математическая грамотность включает способность самостоятельно выявлять проблему и осознанно подбирать соответствующие математические инструменты для ее решения [8]. Математическая грамотность не сводится исключительно к владению вычислительными операциями: она охватывает целостный набор компетенций, позволяющих эффективно использовать математический аппарат для осмысления и решения задач, возникающих в реальных жизненных ситуациях [3, с. 84]. Формирование этих компетенций требует перехода от репродуктивных форм работы к активным и интерактивным методам обучения, стимулирующим познавательную деятельность учащихся.

Отличительными особенностями заданий на формирование математической грамотности являются следующие: контекстность, проблемность, соответствие возрастным особенностям, обогащение социального опыта, познавательность, развитие компетенций, комплексность и уровневость [10, с. 30].

В самом общем смысле интерактивность означает способность к диалогу и взаимному обмену действиями: она может проявляться как в человеческом общении, так и во взаимодействии человека с техническими средствами или цифровой средой.

Внедрение интерактивных методов в учебный процесс ведет к появлению принципиально новых форматов познавательной деятельности. В их числе систематический сбор и упорядочивание данных об изучаемых объектах, передача значительных объемов информации в различных форматах, управление визуальными моделями (динамическое отображение на экране образов объектов, явлений и процессов) и др. Это делает учебный процесс более гибким, ориентированным на активную позицию учащегося и способным эффективно отвечать на запросы современной школы.

Анализируя педагогическую практику, к основным интерактивным средствам мы можем отнести следующие.

1. Диалоговые технологии (учебные дискуссии, мозговые штурмы, кейс-методы) – позволяют организовать коллективное обсуждение математических проблем, развивать аргументацию и критическое мышление.

2. Игровые методы (дидактические игры, квесты, математические бои) создают мотивацию через соревновательный элемент – например, игра «Биржа знаний» формирует у учащихся навыки быстрого счета и стратегического планирования.

3. Проектная деятельность предполагает решение междисциплинарных задач (например, расчет оптимального маршрута путешествия с учетом бюджета и времени) и развивает умение интегрировать математические знания в реальный контекст.

4. Цифровые интерактивные инструменты (онлайн-тренажеры, программы динамической геометрии, симуляторы и виртуальные лаборатории) облегчают изучение математических

дисциплин и делают его более занимательным. Также следует упомянуть и использование в обучении игрового онлайн-инструмента *Umaigra* [5]. В школах активно используется платформа «Российская электронная школа», призванная обеспечить участников образовательного процесса современным цифровым инструментарием. Ее главная задача заключается в формировании математической грамотности и обогащения математических знаний за счет включения интерактивных учебных материалов, мультимедийных ресурсов и инструментов онлайн-взаимодействия [4, с. 96]. Развивается и использование онлайн-платформ для предварительного проектирования урока [9, с. 57].

5. Кооперативные методы (работа в малых группах, взаимообучение) способствуют развитию коммуникативных навыков и распределению ролей при решении сложных задач.

Достоинствами интерактивных средств для формирования математической грамотности школьников по праву можно считать такие, как повышение мотивации (вовлеченность в процесс через игру, дискуссию или проект снижает тревожность и формирует позитивный настрой к математике); развитие метапредметных компетенций (учащиеся осваивают навыки сотрудничества, самоорганизации, поиска информации); индивидуализация обучения (возможность адаптировать задания под уровень каждого ученика, например, через дифференцированные кейсы); рефлексия и осознанность (обсуждение решений в группе помогает осознать логику действий и избежать шаблонного мышления); практическая направленность (связь с реальными ситуациями из областей финансов, экологии, технологий доказывает прикладную ценность математики).

Таким образом, интерактивные методы обучения следует считать универсальным педагогическим инструментом, обладающим широким спектром образовательных функций. Интеграция этих методов с современными цифровыми ресурсами существенно обогащает дидактический потенциал учебного процесса, открывая новые возможности для организации познавательной деятельности учащихся [2, с. 362].

Несмотря на очевидные преимущества интерактивных методов, их применение в образовательном процессе сопряжено с рядом существенных ограничений и недостатков, которые необходимо учитывать при планировании учебной работы. В частности, необходимо указать на следующие аспекты: временные затраты, организационные сложности (необходимость оснащения кабинетов техникой, подготовки материалов, контроля), риск поверхностности (при избыточном фокусе на «интересность» может снижаться глубина проработки теоретического материала), неоднородность результатов (в группах с разным уровнем подготовки сильные ученики могут доминировать, а слабые оставаться пассивными), зависимость от квалификации педагога.

Для минимизации недостатков целесообразно сочетать интерактивные методы с классическими (например, после дискуссии – самостоятельная работа по закреплению алгоритма), использовать цифровые инструменты для автоматизации рутинных операций (проверка тестов, визуализация данных), внедрять четкие критерии оценки групповой работы (рубрикаторы, самооценка), проводить тренинги для педагогов по управлению интерактивными формами обучения.

Исследование подтвердило, что интерактивные методы обучения – это универсальный педагогический инструмент с широким спектром образовательных функций, создающий оптимальные условия для формирования математической грамотности учащихся.

Установлено, что современные образовательные средства, такие как диалоговые технологии, проектная деятельность, цифровые инструменты и др., способствуют повышению мотивации к изучению математики, развитию межпредметных компетенций, индивидуализации обучения и развитию навыка рефлексии. Внедрение интерактивных методов позволяет снизить тревожность учащихся, сформировать позитивный настрой к предмету, развить навыки сотрудничества и самоорганизации, а также обеспечить адаптацию заданий под уровень каждого ученика. При этом необходимо учитывать определенные ограничения: потребность в дополнительной подготовке педагогов, организация материально-технической базы, оптимизация времени и контроль качества усвоения материала.

Таким образом, использование интерактивных средств в формировании математической грамотности имеет значительный потенциал при условии грамотного сочетания с традиционными методами обучения и учета специфики образовательного процесса.

Литература

1. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования (Утв. приказом Министерства просвещения Российской Федерации от 31 мая 2021 г. № 287) // Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107050027.

2. Алипханова, Ф.Н. Применение компьютерных игр в образовании / Ф.Н. Алипханова, Р.Р. Алиева // Современные педагогические технологии профессионального образования : сборник статей. – М., 2018. – С. 361–366.

3. Горобец, Л.Н. Функциональная грамотность как основной тренд современного обучения / Л.Н. Горобец, И.В. Бирюков // Мир науки, культуры, образования. – 2022. – № 3. – С. 84–86.

4. Дербеденева, Н.Н. Формирование математической грамотности школьников с использованием цифровых образовательных платформ / Н.Н. Дербеденева, О.А. Аникина, И.А. Шляхтина // Дидактика математики: проблемы и исследования. – 2025. – Вып. 2. – С. 92–99.

5. Дьяченко А.Ю. Познакомимся с онлайн-инструментом Umaigra / А.Ю. Дьяченко, Я.С. Данченко // ВикиСтавЦДО [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://wiki.stavcdo.ru/images/4/45/Инсткрция_по_работе_с_онлайн-инструментом_Umaigra.pdf.

6. Исаева, З.И. Применение интерактивных методов обучения на уроках математики / З.И. Исаева // Проблемы современного педагогического образования. – 2019. – № 63-4. – С. 81–84.

7. Левашова, Н.Ф. Методы и приемы формирования функциональной грамотности на уроках математики / Н.Ф. Левашова // Молодой ученый. – 2022. – № 2. – С. 208–210.

8. Мазнева, Г.В. Теоретико-методологические основы формирования математической грамотности обучающихся как компонента функциональной грамотности / Г.В. Мазнева, Ю.С. Репринцева. – Благовещенск : Благовещенский государственный педагогический университет, 2023. – 115 с.

9. Папкова, Н.В. Возможности онлайн-платформы для проектирования урока / Н.В. Папкова, Т.В. Соколова // Научно-методическое обеспечение оценки качества образования. – 2022. – № 3. – С. 57–60.

10. Расташанская, Т.В. Развитие математической грамотности на основе предметного и межпредметного содержания : методическое пособие для учителя / Т.В. Расташанская, Т.Ф. Сергеева, М.В. Шабанова, М.С. Попов. – М. : Академия Минпросвещения России, 2021. – 49 с.

References

1. Federalnij gosudarstvennij obrazovatelnij standart osnovnogo obshchego obrazovaniya (Utv. prikazom Ministerstva prosveshcheniya Rossijskoj Federatsii ot 31 maya 2021 g. № 287) // Ofitsialnij internet-portal pravovoj informatsii [Electronic resource]. – Access mode : http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107050027.

2. Alipkhanova, F.N. Primenenie kompyuternykh igr v obrazovanii / F.N. Alipkhanova, R.R. Alieva // Sovremennye pedagogicheskie tekhnologii professionalnogo obrazovaniya : sbornik statej. – M., 2018. – S. 361–366.

3. Gorobets, L.N. Funktsionalnaya gramotnost kak osnovnoj trend sovremennogo obucheniya / L.N. Gorobets, I.V. Biryukov // Mir nauki, kultury, obrazovaniya. – 2022. – № 3. – S. 84–86.

4. Derbedeneva, N.N. Formirovanie matematicheskoj gramotnosti shkolnikov s ispolzovaniem tsifrovykh obrazovatelnykh platform / N.N. Derbedeneva, O.A. Anikina, I.A. SHlyakhtina // Didaktika matematiki: problemy i issledovaniya. – 2025. – Vyp. 2. – S. 92–99.

5. Dyachenko A.YU. Poznakomimsya s onlajn-instrumentom Umaigra / A.YU. Dyachenko, YA.S. Danchenko // VikiStavTSDO [Electronic resource]. – Access mode : https://wiki.stavcdo.ru/images/4/45/Instrktsiya_po_rabote_s_onlajn-instrumentom_Umaigra.pdf.

6. Isaeva, Z.I. Primenenie interaktivnykh metodov obucheniya na urokakh matematiki / Z.I. Isaeva // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. – 2019. – № 63-4. – S. 81–84.

7. Levashova, N.F. Metody i priemy formirovaniya funktsionalnoj gramotnosti na urokakh matematiki / N.F. Levashova // Molodoj uchenij. – 2022. – № 2. – S. 208–210.

8. Mazneva, G.V. Teoretiko-metodologicheskie osnovy formirovaniya matematicheskoj gramotnosti

obuchayushchikhsya kak komponenta funktsionalnoj gramotnosti / G.V. Mazneva, YU.S. Reprintseva. – Blagoveshchensk : Blagoveshchenskij gosudarstvennij pedagogicheskij universitet, 2023. – 115 s.

9. Papkova, N.V. Vozmozhnosti onlajn-platformy dlya proektirovaniya uroka / N.V. Papkova, T.V. Sokolova // Nauchno-metodicheskoe obespechenie otsenki kachestva obrazovaniya. – 2022. – № 3. – S. 57–60.

10. Rastashanskaya, T.V. Razvitie matematicheskoj gramotnosti na osnove predmetnogo i mezhpredmetnogo soderzhaniya : metodicheskoe posobie dlya uchitelya / T.V. Rastashanskaya, T.F. Sergeeva, M.V. SHabanova, M.S. Popov. – M. : Akademiya Minprosveshcheniya Rossii, 2021. – 49 s.

© Д.Н. Четвертнов, И.А. Пинчук, 2026

УДК 612.0+796.011.3

ТИПЫ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ У СТУДЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ СПОРТИВНЫХ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ

И.В. БОЧАРИН[1], А.М. ГУРЬЯНОВА[1], Н.А. БОРИСОВ[2], С.Н. ПОЛЕБЕНЦЕВ[3]

[1] ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет»;
[2] ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л.Я. Флорентьева»;
[3] ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород

Ключевые слова и фразы: вегетативная регуляция; вариабельность сердечного ритма; спортивная специализация; студенты; адаптация; функциональное состояние.

Аннотация: Цель исследования – выявить особенности вегетативной регуляции у студентов разной спортивной специализации. Гипотеза – направленность тренировочного процесса определяет баланс симпатического и парасимпатического отделов. Методы: анализ временных и спектральных показателей ВСР у 35 студентов (игровые и циклические виды спорта), критерий Краскела – Уоллиса. Результаты: у мини-футболистов наблюдается симпатикотония и высокий стресс-индекс; у баскетболистов – сбалансированный тип; у представителей циклических видов спорта – ваготония и экономичная регуляция. Направленность спортивной деятельности определяет тип вегетативной регуляции, отражая различия в адаптационных механизмах организма.

Вегетативная регуляция сердечно-сосудистой системы является важнейшим механизмом обеспечения адаптации организма к физическим нагрузкам [3]. Одним из наиболее информативных методов оценки состояния автономной нервной системы является анализ вариабельности сердечного ритма (**ВСР**), позволяющий количественно охарактеризовать баланс симпатического и парасимпатического отделов, а также уровень функционального напряжения регуляторных систем [4].

Известно, что характер вегетативной регуляции во многом определяется направленностью тренировочного процесса [1; 2; 5]. В частности, у лиц, занимающихся видами спорта, развивающими выносливость, чаще наблюдается преобладание парасимпатического влияния, тогда как у представителей игровых видов спорта возможно более выраженное участие симпатического звена, связанное с высокой интенсивностью и вариативностью нагрузок [1].

Несмотря на наличие исследований, посвященных анализу вариабельности сердечного ритма у спортсменов, особенности вегетативной регуляции у студентов, занимающихся различными по физиологической направленности видами спорта, изучены недостаточно. Особый интерес представляет сравнительная оценка показателей ВСР у представителей игровых (мини-футбол, баскетбол) и циклических видов спорта, позволяющая выявить специфические адаптационные особенности.

Таким образом, цель исследования – сравнительное изучение показателей вариабельности сердечного ритма у студентов, занимающихся различными видами спорта, и оценка особенностей вегетативной регуляции в зависимости от спортивной специализации.

В исследовании приняли участие 35 спортсменов мужского пола (средний возраст 20,4±2,1 года), обучающихся в Приволжском исследовательском медицинском университете. В зависимости от спортивной специализации испытуемые были разделены на три группы: студенты, занимающиеся баскетболом (n = 13), занимающиеся мини-футболом (n = 11) и циклическими видами спорта (спортивное ориентирование, плавание, легкая атлетика; n = 11). Все испытуемые регулярно тренировались не менее трех раз в неделю по два часа. Участники

Таблица 1. Сравнительная характеристика показателей вариабельности сердечного ритма у студентов различных спортивных специализаций (n = 35), $M \pm m$

Показатель	Мини-футбол (n = 11)	Баскетбол (n = 13)	Циклические виды (n = 11)
*pNN*50 (%)	13,5 ± 6,1	34,8 ± 6,4*	40,8 ± 7,7#^
ЧСС, уд/мин	97,6 ± 6,4	79,0 ± 4,7*	77,8 ± 3,7#
SDNN, мс	36,3 ± 4,1	48,7 ± 4,6*	51,6 ± 4,0#
RMSSD, мс	35,1 ± 5,6	52,7 ± 5,2*	55,5 ± 7,1#
MxDMn, мс	178,5 ± 17,5	238,8 ± 12,8*	440,5 ± 161,3#^
SI, усл. ед.	243,7 ± 46,5	148,2 ± 39,8*	140,1 ± 24,7#
VLF (%)	36,6 ± 3,3	30,9 ± 3,3*	23,4 ± 3,7#^
LF (%)	41,3 ± 3,3	38,5 ± 3,0*	45,1 ± 3,2^
HF (%)	22,1 ± 2,2	29,8 ± 2,2*	31,5 ± 2,5#
LF/*HF*, усл. ед.	2,0 ± 0,23	1,38 ± 0,18*	1,53 ± 0,15#^
TP, мс^2	958,6 ± 211,7	1823,0 ± 290,5*	1655,0 ± 255,4#^

*Примечание: * – статистически значимые различия между футболистами и баскетболистами, $p < 0,05$; # – значимые различия между спортсменами циклических видов спорта и футболистами, $p < 0,05$; ^ – значимые различия между спортсменами циклических видов спорта и баскетболистами, $p < 0,05$ (тест Краскела – Уоллиса)*

предоставили информированное согласие; исследование проводилось в соответствии с положениями Хельсинкской декларации (2008).

Тестирование выполнялось в середине учебного дня в условиях относительного физиологического покоя, в помещении с контролируемой температурой (18–22 °*C*) и влажностью воздуха (45–55 %). Регистрация ВСР осуществлялась в стандартных условиях с использованием программно-аппаратного комплекса «Система спортивного тестирования *MedicalSoft* (*MS FIT*-01, Россия). Длительность записи составляла не менее 256 карциоциклов. В анализ включали временные (*SDNN*, *RMSSD*, *SI*, *MxDMn*, *pNN*50) и спектральные (*LF*, *HF*, *VLF*, *TP*, *LF*/*HF*) показатели. Дополнительно регистрировали ЧСС.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием методов описательной статистики. Критерий Шапиро – Уилка использовали для проверки на нормальность распределения. Поскольку распределение отличалось от нормального, для сравнения трех независимых групп применяли критерий Краскела – Уоллиса. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Сравнительный анализ показателей вариабельности сердечного ритма выявил выраженные различия в состоянии вегетативной регуляции у студентов, занимающихся различными видами спорта (табл. 1).

У студентов, занимающихся мини-футболом, зарегистрированы наиболее высокие значения частоты сердечных сокращений и стресс-индекса, что указывает на повышенный уровень функционального напряжения. Одновременно в данной группе отмечались наиболее низкие значения показателей парасимпатической активности – *pNN*50 и *RMSSD*, а также снижение *SDNN*, что свидетельствует о снижении вариабельности сердечного ритма. Кроме того, у них отмечается выраженное преобладание симпатической активности, что проявляется высокими значениями стресс-индекса и отношения *LF*/*HF*. Одновременно наблюдается снижение показателей парасимпатической активности – *RMSSD*, *HF* и *pNN*50. Это указывает на напряжение регуляторных механизмов и менее экономичный тип функционирования сердечно-сосудистой системы.

У баскетболистов частота сердечных сокращений была ниже, а показатели вариабельности сердечного ритма характеризовались более благоприятными значениями (*SDNN*, *RMSSD*,

*pNN*50). Значение стресс-индекса было существенно ниже, чем у футболистов, что указывает на более экономичное функционирование регуляторных систем. Также среди этой группы определено более сбалансированное соотношение симпатического и парасимпатического влияния. Значения *SI* и *LF*/*HF* свидетельствуют об умеренной симпатической активации, тогда как показатели *RMSSD*, *HF* и *pNN*50 отражают достаточный уровень парасимпатической регуляции. Это характеризует оптимальный уровень автономного контроля.

У студентов, занимающихся циклическими видами спорта, наблюдались наиболее высокие значения показателей парасимпатической активности, что отражается в значениях *pNN*50, *RMSSD*, *SDNN*, несмотря на некоторое повышение *LF*/*HF*. При этом уровень стресс-индекса оставался на относительно низком уровне. ЧСС зафиксировано в наименьшем значении среди исследуемых групп. В целом данные этой группы свидетельствуют о более экономичном и устойчивом типе регуляции.

На основании анализа показателей вариабельности сердечного ритма у студентов различных спортивных специализаций были выделены основные типы вегетативной регуляции. У студентов, занимающихся мини-футболом, преобладает симпатикотонический тип регуляции, характеризующийся повышенными значениями стресс-индекса, увеличением отношения *LF*/*HF* и снижением показателей парасимпатической активности. Данный тип отражает высокий уровень функционального напряжения и активацию симпатического отдела вегетативной нервной системы.

У баскетболистов преимущественно выявляется нормотонический (сбалансированный) тип регуляции, при котором наблюдается оптимальное соотношение симпатического и парасимпатического влияния. Это проявляется умеренными значениями *SI* и *LF*/*HF* при достаточно высоких показателях *RMSSD* и *pNN*50.

У студентов, занимающихся циклическими видами спорта, доминирует парасимпатический (ваготонический) тип регуляции, характеризующийся высокими значениями *RMSSD*, *HF* и *pNN*50, а также относительно низким уровнем стресс-индекса. Такой тип регуляции свидетельствует о высокой функциональной устойчивости и экономичности работы сердечно-сосудистой системы.

Проведенное исследование показало, что характер вегетативной регуляции у студентов существенно зависит от направленности их спортивной деятельности. У студентов, занимающихся мини-футболом, выявлены признаки преобладания симпатической активности, сопровождающиеся снижением показателей ВСР, что свидетельствует о более высоком уровне функционального напряжения регуляторных систем. У баскетболистов отмечается наиболее сбалансированный тип вегетативной регуляции, характеризующийся оптимальным соотношением симпатического и парасимпатического влияния и умеренными значениями показателей ВСР. У студентов, занимающихся циклическими видами спорта, выявлено экономичное функционирование сердечно-сосудистой системы и высокий уровень адаптационных возможностей. Полученные результаты подтверждают, что анализ вариабельности сердечного ритма является информативным методом оценки функционального состояния организма и позволяет выявлять особенности адаптации к различным видам физической нагрузки.

Литература

1. Литвин, Ф.Б. Влияние ступенчато нарастающей физической нагрузки на вариабельность сердечного ритма у спортсменов / Ф.Б. Литвин, В.Я. Жигало, О.В. Калабин, Л.В. Масальцева, Н.С. Менькова // Российский кардиологический журнал. – 2024. – Т. 29. – № S6. – С. 27–28.

2. Мартусевич А.К. Особенности вариабельности сердечного ритма у студентов-спортсменов различного профиля / А.К. Мартусевич, И.В. Бочарин, М.С. Гурьянов, С.Б. Мамонтова // Медицинский альманах. – 2020. – № 3(64). – С. 81–85.

3. Нурализода, М.А. Прогностическая роль вариабельности сердечного ритма в информационном стрессе у студентов / М.А. Нурализода, Ф. Джабборов // Биология и интегративная медицина. – 2025. – № S1(73). – С. 24–35. – DOI: 10.24412/cl-34438-2025-24-35.

4. Рогов, О.С. Исследование параметров сердечной деятельности спортсменов циклических видов спорта в макроцикле / О.С. Рогов, Б.М. Сапаров, И.М. Джолиев, В.А. Обносов // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2026. – № 1(178). – С. 145–148.

5. Таможникова, И.С. Вариабельность сердечного ритма как показатель адаптации организма студентов-спортсменов к физической нагрузке / И.С. Таможникова, М.М. Богомолова, Н.А. Куропаткина, С.А. Кормилин // Теория и практика физической культуры. – 2021. – № 3. – С. 20.

6. Nezhkina, N. The State of Vegetative Status and Adaptive Reserve to Physical Activity in the Elderly / N. Nezhkina, S. Sokolovskaia, F. Fomin, T. Chueva, E. Fomin, I. Bocharin, N. Balashkevich, M. Kolokoltsev, E. Romanova, A. Martusevich // Journal of Physical Culture and Sport. – 2022. – Vol. 22. – No. 11. – P. 2688–2693. – DOI: 10.7752/jpes.2022.11342.

References

1. Litvin, F.B. Vliyanie stupenchato narastayushchej fizicheskoj nagruzki na variabelnost serdechnogo ritma u sportsmenov / F.B. Litvin, V.YA. ZHigalo, O.V. Kalabin, L.V. Masaltseva, N.S. Menkova // Rossijskij kardiologicheskij zhurnal. – 2024. – T. 29. – № S6. – S. 27–28.

2. Martusevich A.K. Osobennosti variabelnosti serdechnogo ritma u studentov-sportsmenov razlichnogo profilya / A.K. Martusevich, I.V. Bocharin, M.S. Guryanov, S.B. Mamontova // Meditsinskij almanakh. – 2020. – № 3(64). – S. 81–85.

3. Nuralizoda, M.A. Prognosticheskaya rol variabelnosti serdechnogo ritma v informatsionnom stresse u studentov / M.A. Nuralizoda, F. Dzhabborov // Biologiya i integrativnaya meditsina. – 2025. – № S1(73). – S. 24–35. – DOI: 10.24412/cl-34438-2025-24-35.

4. Rogov, O.S. Issledovanie parametrov serdechnoj deyatelnosti sportsmenov tsiklicheskikh vidov sporta v makrotsikle / O.S. Rogov, B.M. Saparov, I.M. Dzholiev, V.A. Obnosov // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : NTF RIM. – 2026. – № 1(178). – S. 145–148.

5. Tamozhnikova, I.S. Variabelnost serdechnogo ritma kak pokazatel adaptatsii organizma studentov-sportsmenov k fizicheskoj nagruzke / I.S. Tamozhnikova, M.M. Bogomolova, N.A. Kuropatkina, S.A. Kormilin // Teoriya i praktika fizicheskoj kultury. – 2021. – № 3. – S. 20.

© И.В. Бочарин, А.М. Гурьянова, Н.А. Борисов, С.Н. Полебенцев, 2026

УДК 37.01

НОРМАТИВНО-ЦЕННОСТНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

ВАН ЮАНЬХУЭЙЦЗЭ, Е.В. САВЕНКОВА

ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет», г. Москва

Ключевые слова и фразы: генеративный искусственный интеллект; педагогическое образование; согласование ценностей; цифровая грамотность; человеко-машинная конвергенция.

Аннотация: В данной статье проводится теоретический анализ нормативно-ценностных аспектов интеграции генеративного искусственного интеллекта в систему педагогического образования. Целью исследования является определение условий для безопасного и эффективного использования интеллектуальных технологий в структуре подготовки учителей. На основе анализа противоречий между возможностями генеративного ИИ и актуальными потребностями педагогического образования автором выдвинуто предположение о том, что обучение должно трансформироваться в сторону парадигмы человеко-машинной конвергенции, обеспечивающей развитие транспрофессиональных компетенций будущих педагогов. В работе использованы методы сравнительного и кейс-анализа на примере кейсов из Китая и других международных практик. В результате исследования на макро-, мезо- и микроуровнях сформулированы следующие выводы: необходимо разработать национальные стандарты этики ИИ; внедрять технологии ИИ поэтапно в соответствии с уровнем экономического развития регионов; усиливать междисциплинарное взаимодействие в профессиональном педагогическом образовании.

Введение

Процесс интеграции технологий искусственного интеллекта в сферу образования стал необратимым явлением, выступающим катализатором цифровой трансформации. В ряде исследований отмечается, что масштабное внедрение инструментов типа *ChatGPT* не только открывает новые возможности для расширения образовательной практики, но и неизбежно сопряжено с многоплановыми рисками, обусловленными стремительной итерацией технологий [1]. В условиях, когда технологический прогресс опережает методическую адаптацию, возникает необходимость перехода от общего анализа преимуществ и недостатков к более детальному изучению фундаментальных механизмов взаимодействия человека и ИИ. Одним из таких критических моментов, требующих глубокого научно-педагогического осмысления, является проблема ценностных аспектов применения генеративного искусственного интеллекта в педагогическом образовании.

Пионер в области искусственного интеллекта Н. Винер (*Wiener*, 1960) [2] первым сформулировал проблему использования ИИ, описав ее следующим образом: «Мы должны быть абсолютно уверены в том, что цели, заложенные в машину, являются именно теми целями, которых мы желаем достичь». В дальнейшем С. Рассел (*Russell*, 2019) подчеркнул, что генеративный искусственный интеллект должен обеспечивать соответствие человеческим ценностям, то есть обеспечивать согласование ценностей (*value alignment*) [3]. Фактически в компьютерных системах существует ценностная дискриминация в отношении определенных групп населения, и согласование ценностей является основным способом преодоления подобного неравенства со стороны ИИ. В данном

контексте понятие «ценность» имеет двоякое значение: во-первых, это субъективно предпочтительные для человека вещи, то есть предпочтения; во-вторых, это обоснованные моральные принципы [4].

Для подготовки будущих педагогов важны ценности второго типа, представляющие собой устойчивые, нормативно обоснованные моральные принципы, характеризующиеся продолжительностью действия, общественной значимостью, способностью выступать ориентирами профессиональной деятельности.

При этом А. Железнов отмечает, что при использовании ИИ в обучении могут нарушаться заложенные в него изначально цели и ценности.

Я. Габриэль (*Gabriel*, 2020) [5], изучая проблему согласования принципов поведения ИИ с моральными ценностями и нормами, обосновывает необходимость регулирования ИИ именно на основе моральных ценностей, а не прямых инструкций, выделяет три пути реализации согласования ценностей искусственного интеллекта: во-первых, поиск глобального консенсуса в моральных убеждениях; во-вторых, использование концепции «занавеса неведения» для помощи ИИ в установлении принципов справедливости, что требует от субъектов принятия решений в области ИИ полной рациональности и абсолютной беспристрастности; в-третьих, опора на теорию общественного выбора для отбора ценностных ориентаций, которые одобряются или поддерживаются большинством людей. Ввиду отсутствия консенсуса среди человечества относительно моральных ценностей, общественный выбор выступает необходимым инструментом решения проблемы согласования ценностей [6].

Текущая дилемма согласования ценностей

Отклонение генеративного искусственного интеллекта от атрибутивных характеристик педагогического образования

Педагогическое образование характеризуется такими особенностями, как многообразие субъектов, автономность объектов, интерактивность процесса и гуманистический характер деятельности [7]. Существуют различия в стандартах подготовки педагогов для разных ступеней образования: подготовка учителей начальной и средней школы ориентирована на повышение дисциплинарной грамотности в области базового образования, углубление знаний и формирование способности к трансформации преподавания; на этапе высшего образования не только уделяется внимание развитию академических компетенций, но и более ярко выражается научный атрибут преподавательской деятельности. С позиции теории диалога, образование – это диалогический процесс, в котором живое знание педагога постоянно обновляется в ходе межличностного взаимодействия. Однако генеративный ИИ как предобученная модель в силу технологических ограничений не обновляет свое содержание синхронно с ходом диалога, что неизбежно приводит к парадоксу основного канала получения учебного контента.

Разрыв между генеративным искусственным интеллектом и системой знаний в педагогическом образовании

Генеративный искусственный интеллект опирается преимущественно на алгоритмы и модельный анализ для обработки уже существующих знаний, что определяет его природу как «рекомбинацию, а не создание знаний» [8]. Однако педагогическое образование требует непрерывного производства и обновления знаний, что приводит к разрыву между системой знаний, интегрированной в генеративный ИИ, и системой знаний, необходимой для подготовки педагогов. В частности, богатый опыт и практические знания выдающихся учителей формируются в ходе масштабной педагогической деятельности и тесно связаны с контекстом классного обучения. Формирование таких навыков должно опираться на специализированные курсы для создания теоретического фундамента, использовать *micro-teaching* для освоения конкретных педагогических умений в контролируемой имитационной среде и закреплять результаты обучения через реальную практику в классе. Эти эмпирические и практические знания, проистекающие из личной рефлексии и размышлений педагога, относятся к неявному знанию.

В то время как данные, на которых обучается генеративный ИИ, представляют собой объективные и осязаемые явные знания, в них отсутствуют те практические компоненты, которые необходимы квалифицированному педагогу.

Проблемы глубокого взаимодействия между педагогом и искусственным интеллектом

Б. Блум (*B. Bloom*) выделяет шесть уровней развития когнитивного мышления учащегося:

«запоминание, понимание, применение, анализ, оценка и создание». Среди них «запоминание и понимание» относятся к поверхностному обучению, в то время как последующие четыре этапа представляют собой глубокое обучение. На этапе глубокого обучения учащимся необходимо активировать внутреннюю мотивацию, чтобы через активное мышление и поиск постичь глубинный смысл знаний, достичь их синтеза и способствовать развитию мышления на более высоких уровнях.

На уровне глубокого обучения генеративный ИИ должен предоставлять педагогам аутентичные учебные ситуации и задачи, а также обеспечивать эмоциональное взаимодействие с ними. Это означает, что в процессе диалога между педагогом и генеративным ИИ должен достигаться «когнитивный резонанс», при котором возможности ИИ становятся продолжением собственных способностей человека [9]. Однако в настоящее время генеративный ИИ способен лишь имитировать человека на основе известных данных; ему трудно понять «подтекст» человеческой речи, и он не способен на эмпатию. Невербальная информация, такая как жесты и мимика, также остается недоступной для захвата генеративным ИИ, что ведет к слабому эффекту социального взаимодействия и невозможности стать полноценным продолжением способностей педагога.

Кроме того, в процессе применения генеративного ИИ субъектами педагогического образования все более отчетливо проявляется «кризис субъектности». Например, педагоги полагаются на интеллектуальные технологии для выполнения учебных задач, превращаясь из «субъекта» в «объект» образовательной деятельности, что ведет к утрате субъективной инициативы и формированию когнитивной лени.

Анализ причин дилеммы рассогласования ценностей

Макроуровень: институциональный дефицит применения генеративного искусственного интеллекта в педагогическом образовании

В настоящее время в контексте внедрения генеративного искусственного интеллекта в систему педагогического образования наблюдается нехватка необходимых и эффективных институциональных норм, и гарантий.

В 2023 г. в Китае были опубликованы «Временные меры по управлению сервисами генеративного искусственного интеллекта», в которых содержатся общие положения по применению соответствующих технологий, а также регулируются этические нормы для разработчиков, регуляторов и пользователей интеллектуальных систем. Однако данные меры представляют собой лишь «экстренное реагирование» на стремительное проникновение технологий генеративного ИИ в общественную жизнь.

В сфере педагогического образования человек как моральный субъект также демонстрирует когнитивную аномию в отношении применения интеллектуальных технологий: педагоги либо возводят их в абсолют, либо полностью отрицают их преимущества.

Более того, в процессе разработки интеллектуальных систем в них неизбежно закладываются ценностные ориентации и идеология разработчиков и регуляторов. Следовательно, процесс их применения в образовательной среде фактически подвержен влиянию ценностей множества субъектов и не контролируется исключительно педагогом. Человек как моральный субъект должен четко осознавать этические нормы использования генеративного ИИ, чтобы по-настоящему овладеть этими технологиями и эффективно их использовать.

Таким образом, появление генеративного ИИ предъявляет новые требования к формированию профессиональной этики: организаторам образования необходимо пересмотреть цели и содержание развития педагогической этики, а также разработать и закрепить этические нормы, которые должны соблюдаться при внедрении генеративного ИИ в систему подготовки учителей.

Разрыв между генеративным искусственным интеллектом и системой педагогического образования

Разрыв между генеративным ИИ и системой педагогического образования проявляется, прежде всего, в системном неравенстве доступа к технологическим ресурсам. Дисбаланс в уровне экономического развития различных регионов препятствует синхронному внедрению интеллектуальных технологий.

Этот разрыв отчетливо прослеживается на примере двух педагогических вузов Китая. Пекинский нормальный университет (*BNU*) после стремительного развития технологий ИИ включил в программу бакалавриата по педагогическим специальностям обязательную дисципли-

ну «Применение ИИ в образовании» объемом 36 академических часов. Более того, в 2024 г. университету было официально разрешено создать Институт технологий будущего для проведения специализированных исследований в области ИИ и других передовых научных проектов, результаты которых также используются для поддержки и развития других специальностей вуза.

В то же время Северо-Западный нормальный университет (*NWNU*), расположенный в северо-западном регионе Китая, сталкивается с относительно сложной финансовой ситуацией. Темпы внедрения технологий и учебных курсов здесь существенно отстают от показателей университетов в развитых регионах: аналогичная дисциплина бакалавриата «Искусственный интеллект и его применение в образовании» составляет всего 9 академических часов.

Более того, большинство моделей генеративного ИИ в процессе обучения поглощают данные на различных языках, что может приводить к лингвистическим искажениям в сформированных дискурсивных рамках. Например, при получении запросов на разных языках *ChatGPT* может подстраиваться под специфику соответствующих языковых систем и ценностных предпочтений, выдавая различные ответы [10]. На данный момент генеративный ИИ не способен предоставлять концепции и материалы, адаптированные к конкретной культурной среде, основываясь на текущем контексте и мультикультурной перспективе [11].

Процесс ввода знаний в генеративный ИИ представляет собой лишь манипуляцию символами, игнорирующую влияние физической активности на познание, что ведет к формированию невоплощенного познания и производству исключительно явного знания. В то же время неявное знание, необходимое педагогу, обладает свойством некодируемости и опирается на воплощенный опыт и ситуативное взаимодействие.

Неопределенность и невоплощенный характер производства знаний в генеративном ИИ вступают в противоречие с потребностью педагогического образования в детерминированных и воплощенных знаниях, что препятствует эффективной коммуникации между этими двумя системами.

Микроуровень: технологические ограничения генеративного искусственного интеллекта

На этапе применения генеративного ИИ вычислительный процесс алгоритмов, управляемых данными, характеризуется высокой сложностью, а их операционные механизмы трудно поддаются вмешательству, что обуславливает значительную непредсказуемость системы. Это приводит к снижению интерпретируемости больших моделей и их уклонению от этического контроля со стороны общества.

Кроме того, педагогическое образование требует получения теоретических и практических знаний в конкретных контекстах, в то время как генеративный ИИ в силу технологических ограничений выдает контент, который далеко не всегда соответствует требованиям профессиональной подготовки педагогов.

С другой стороны, современная система подготовки педагогических кадров в целом отстает от развития передовых дисциплин, что ведет к стагнации цифровой грамотности субъектов педагогического образования. Это проявляется в следующих аспектах: во-первых, отставание этических представлений педагогов об ИИ и когнитивная аномия субъектов; во-вторых, нехватка базовых концепций и теоретических знаний об интеллектуальных технологиях, что препятствует объективной оценке их функций; в-третьих, дефицит навыков использования ИИ и наличие инерции мышления при работе с технологиями; в-четвертых, недостаток способностей к критической оценке и креативному применению ИИ.

Пути преодоления дилеммы и стратегии достижения согласования ценностей

Развитие нормативно-правовой базы применения генеративного искусственного интеллекта в педагогическом образовании

Специфика процесса педагогического образования, характеризующаяся длительным циклом, многообразием площадок и множественностью субъектов, предъявляет строгие требования к продуктам генеративного ИИ.

В связи с этим совершенствование нормативно-правовой базы его применения играет ключевую роль в решении существующих проблем рассогласования ценностей. Например, во «Временных мерах по управлению сервисами генеративного искусственного интеллекта (ИИ) в Китайской Народной Республике (КНР)», принятых 23 мая 2023 г., при одобрении ряда ведомств, включая Министерство образования и Министерство общественной безопасности

Китая, в статье 4 прямо указано, что генеративный искусственный интеллект не должен создавать контент, наносящий ущерб национальным интересам или способствующий терроризму; при разработке алгоритмов должны приниматься эффективные меры по предотвращению дискриминации по этническому признаку, религии или национальности. В мерах также подчеркивается, что нарушители будут нести уголовную ответственность.

Авторы считают, что такие правила применимы к любой стране, развивающей интеллектуальные технологии. Строгие законы и правила регулируют применение искусственного интеллекта и закладывают прочную правовую основу для развития педагогического образования.

Формирование механизмов сопряжения интеллектуальных систем и структуры педагогического образования

Применение технологий ИИ в образовании разрушило пространственно-временные ограничения традиционной образовательной деятельности, смягчило противоречие неравномерного распределения образовательных ресурсов и сократило цифровой разрыв в образовании.

Однако в настоящее время сочетание генеративного искусственного интеллекта и педагогического образования является формальным и не достигло ожидаемого эффекта.

Для действующих учителей мы можем заимствовать опыт реализации программы *EducateAI* (США) в области промышленного сотрудничества, используя модель «базовые гарантии + профильная подготовка»: то есть часть средств инвестируется в менее развитые регионы для повышения базовых навыков интеллектуального преподавания у учителей с упором на универсальные навыки, такие как применение интеллектуальных систем; другая часть средств предоставляется развитым регионам для реализации пилотных проектов в области инновационного интеллектуального образования.

В подготовке будущих учителей мы также можем ориентироваться на модель разработки учебных планов программы *EducateAI* через: открытие обязательных курсов по образованию в области ИИ в ряде университетов; включение модулей по «разработке инструментов интеллектуального образования», используя «систему двойного наставничества» (профессор вуза + соответствующий специалист) для руководства студентами в изучении таких тем, как оптимизация алгоритмов распознавания поведения в классе и разработка инструментов интеллектуального оценивания.

Развитие транспрофессионализма и междисциплинарного взаимодействия в педагогическом образовании

Педагогика не является технологическим авангардом развития искусственного интеллекта; она выступает в роли активного потребителя и интерпретатора этих технологий.

Однако для полноценного и осознанного использования ИИ педагог должен понимать внутреннюю логику его функционирования. Это требует тесного междисциплинарного взаимодействия между педагогическим образованием и такими дисциплинами, как информатика и компьютерные науки, что позволяет выстроить качественную систему знаний в области ИИ.

В этом контексте транспрофессионализм становится необходимой компетенцией будущего педагога. Он позволяет специалисту эффективно действовать в условиях неопределенности и многозадачности, которые привносятся стремительным развитием интеллектуальных технологий [12].

Примером такой интеграции является опыт Пекинского нормального университета (*BNU*), где изучение языка программирования С выступает обязательным условием для освоения курсов по ИИ, что формирует у студентов фундамент для понимания алгоритмических процессов.

Несмотря на технологизацию, необходимо углублять понимание центральной роли учителя. Образовательный процесс целенаправленно инициируется, планируется и организуется людьми.

В системе образования «человеческий» элемент всегда имеет первостепенное значение, так как именно педагог придает этический и методологический смысл использованию интеллектуальных систем [13].

Наконец, используя такие технологии, как *VR* и *AR*, для моделирования реальных сценариев обучения, учителя могут получать теоретические знания и накапливать практический опыт в виртуальных классах, обогащая содержание и опыт преподавания.

Как заявила известный профессор Роуз Лакин (*Rose Luckin*): «ИИ не заменит учителей, но учителя, которые умеют использовать ИИ, заменят тех, кто этого не умеет».

Литература

1. Ван Юаньхуэйцзэ. Риски и стратегии противодействия, связанные с продвижением цифровых образовательных изменений с помощью искусственного интеллекта типа ChatGPT / Ван Юаньхуэйцзэ // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 2(173). – С. 184–192.

2. Wiener, N. Some Moral and Technical Consequences of Automation: As Machines Learn they May Develop Unforeseen Strategies at Rates that Baffle their Programmers / N. Wiener // Science. – 1960. – Vol. 131. – No. 3410. – P. 1355–1358.

3. Russell, S. Human Compatible: AI and the Problem of Control / S. Russell. – London : Penguin UK, 2019. – P. 3–23.

4. Kim, T.W. Taking Principles Seriously: A Hybrid Approach to Value Alignment in Artificial Intelligence / T.W. Kim, J. Hooker, T. Donaldson // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2021. – Vol. 70. – P. 871–890.

5. Gabriel, I. Artificial Intelligence, Values, and Alignment / I. Gabriel // Minds and Machines. – 2020. – Vol. 30. – No. 3. – P. 411–437.

6. Prasad, M. Social Choice and the Value Alignment Problem / M. Prasad // Artificial Intelligence Safety and Security, 2018. – P. 291–314.

7. Чжао, Х. Сущность, характеристики и логика развития педагогического образования / Х. Чжао // Журнал педагогического образования. – 2021. – Т. 8. – № 5. – С. 28–35.

8. Ли, Х. Трудности и пути их преодоления при использовании генеративного искусственного интеллекта в производстве педагогических знаний в Китае / Х. Ли, С. Хэ // Китайская педагогическая наука (китайско-английское издание). – 2024. – Т. 7. – № 5. – С. 51–60.

9. Lesh, N. “Man-Computer Symbiosis” Revisited: Achieving Natural Communication and Collaboration with Computers / N. Lesh, J. Marks, C. Rich, C.L. Sidner // IEICE Transactions on Information Systems. – 2004. – Vol. 87. – No. 6. – P. 1290–1298.

10. Чжоу, М. Предвзятость и регулирование в распространении генеративного искусственного интеллекта: на примере ChatGPT / М. Чжоу, Б. Го // Обучение и практика. – 2024. – № 479(1). – С. 33–41.

11. Van den Berg, G. ChatGPT and Generative AI: Possibilities for its Contribution to Lesson Planning, Critical Thinking and Openness in Teacher Education / G. van den Berg, E. du Plessis // Education Sciences. – 2023. – Vol. 13. – No. 10. – P. 998.

12. Савенкова, Е.В. Транспрофессионализм как ресурс в системе подготовки менеджеров образования в педагогическом вузе / Е.В. Савенкова, О.П. Осипова, О.А. Шклярова // Преподаватель XXI век. – 2021. – № 2. – Ч. 1. – С. 58–68. – DOI: 10.31862/2073-9613-2021-2-58-68.

13. Учебный план бакалавриата по направлению «Педагогика», профиль «Цифровая педагогика и образовательные технологии» // Факультет образования Пекинского нормального университета. – Пекин, 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://fe.bnu.edu.cn/html/page02/bkskc037.html.

References

1. Van YUankhuejtsze. Riski i strategii protivodejstviya, svyazannye s prodvizheniem tsifrovykh obrazovatelnykh izmenenij s pomoshchyu iskusstvennogo intellekta tipa ChatGPT / Van YUankhuejtsze // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 2(173). – S. 184–192.

7. CHzhao, KH. Sushchnost, kharakteristiki i logika razvitiya pedagogicheskogo obrazovaniya / KH. CHzhao // ZHurnal pedagogicheskogo obrazovaniya. – 2021. – T. 8. – № 5. – S. 28–35.

8. Li, KH. Trudnosti i puti ikh preodoleniya pri ispolzovanii generativnogo iskusstvennogo intellekta v proizvodstve pedagogicheskikh znanij v Kitae / KH. Li, S. KHe // Kitajskaya pedagogicheskaya nauka (kitajsko-anglijskoe izdanie). – 2024. – T. 7. – № 5. – S. 51–60.

10. CHzhou, M. Predvzyatost i regulirovanie v rasprostranenii generativnogo iskusstvennogo intellekta: na primere ChatGPT / M. CHzhou, B. Go // Obuchenie i praktika. – 2024. – № 479(1). – S. 33–41.

12. Savenkova, E.V. Transprofessionalizm kak resurs v sisteme podgotovki menedzherov

obrazovaniya v pedagogicheskom vuze / E.V. Savenkova, O.P. Osipova, O.A. SHklyarova // Prepodavatel XXI vek. – 2021. – № 2. – CH. 1. – S. 58–68. – DOI: 10.31862/2073-9613-2021-2-58-68.

13. Uchebnij plan bakalavriata po napravleniyu «Pedagogika», profil «TSifrovaya pedagogika i obrazovatelnye tekhnologii» // Fakultet obrazovaniya Pekinskogo normalnogo universiteta. – Pekin, 2024 [Electronic resource]. – Access mode : https://fe.bnu.edu.cn/html/page02/bkskc037.html.

© Ван Юаньхуэйцзэ, Е.В. Савенкова, 2026

УДК 378.14

ВНУТРЕННЯЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ КАК МЕХАНИЗМ МОНИТОРИНГА УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ

Л.Г. ВАСИЛЬЕВА, С.В. ИЛЬИНА, Е.А. ИЛЬИНА

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева», г. Чебоксары

Ключевые слова и фразы: качество образования; внутренняя оценка; удовлетворенность студентов; образовательный процесс; вуз; мониторинг; балльно-рейтинговая система; федеральный стандарт; анкетирование.

Аннотация: Цель исследования – анализ удовлетворенности студентов и преподавателей организацией образовательного процесса и определение направлений совершенствования внутренней системы оценки качества образования (**ВСОКО**) в педагогическом университете. Задачи: анализ нормативно-правовой базы; проведение анкетирования студентов, преподавателей и работодателей; выявление факторов, влияющих на восприятие качества образования; оценка роли балльно-рейтинговой системы в структуре ВСОКО. Гипотеза: существуют локальные различия в удовлетворенности на разных факультетах при высоком общем уровне оценок. Методы: теоретический анализ, электронное анкетирование (выборка: 996 студентов, 164 преподавателя, 88 работодателей), описательная статистика, контент-анализ открытых вопросов. Результаты: подтвержден высокий уровень удовлетворенности респондентов (76,2 % студентов, 72,8 % преподавателей, 85 % работодателей), однако выявлены локальные различия между факультетами; определены «зоны роста» (материально-техническая база, доступ к электронной информационно-образовательной среде, оперативность коммуникации); показано, что балльно-рейтинговая система требует дополнения качественными методами оценки.

Образовательная деятельность является фундаментальной функцией любого вуза. В условиях высокой конкуренции на рынке образовательных услуг эффективность работы университета определяется не только трансляцией знаний, но и научно-исследовательской, организационно-методической, воспитательной и социально-досуговой деятельностью [3; 6]. Конечным индикатором успеха выступает выпускник – квалифицированный специалист, востребованный работодателем [6].

Федеральный закон № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» закрепляет понятие «качество образования» как комплексной характеристики, отражающей степень соответствия деятельности вуза федеральным государственным образовательным стандартам (**ФГОС**) и потребностям обучающихся [1]. Важно разграничивать «качество образования» и «качество обучения»: последнее включает организацию процесса и материально-техническую базу, тогда как качество образования дополнительно подразумевает востребованность выпускника и оценку его компетенций работодателем.

Для объективной оценки данных параметров Министерством науки и высшего образования РФ рекомендовано внедрение системы внутренней оценки качества образования (**ВСОКО**) [2]. ВСОКО представляет собой оценочную процедуру, осуществляемую уполномоченными подразделениями вуза для получения объективной информации о реализуемых образовательных программах. Законодательство предоставляет вузам автономию в выборе методов, однако методические рекомендации зада-

Таблица 1. Распределение ответов студентов и преподавателей по уровням удовлетворенности качеством образовательного процесса

Оценка, балл	Студенты, ответы	Студенты, %	Преподаватели, ответы	Преподаватели, %
1 (затрудняюсь)	6	0,6	2	0,35
2 (не удовлетворен)	10	1,0	0	0
3 (скорее нет)	52	5,22	23	4,06
4 (скорее да)	169	16,97	129	22,79
5 (удовлетворен)	759	76,2	412	72,79
Всего	996	100	566	100

ют приоритеты: формирование вовлеченности обучающихся, внедрение цифровых форматов, повышение компетентности научно-педагогических работников, оценку удовлетворенности участников образовательного процесса и эффективное управление на основе показателей качества.

В условиях цифровой трансформации особое значение приобретает оценка доступности и качества электронной информационно-образовательной среды (**ЭИОС**) [5; 7]. В педагогических вузах проблема качества образования усложняется тем, что выпускники сами выступают будущими трансляторами образовательных стандартов, что делает их подготовку фундаментом для всей системы школьного образования [8].

Материалы и методы исследования. В ЧГПУ им. И.Я. Яковлева ежегодно проводится процедура самообследования. В рамках данного исследования проанализированы данные анкетирования за 2024–2025 уч. г. Основным инструментом выступило электронное анкетирование, обеспечивающее анонимность и автоматизацию подсчета результатов. Опрос охватывал три целевые группы: студенты, преподаватели и работодатели.

В марте 2025 г. в анкетировании «Удовлетворенность качеством образовательной деятельности» приняли участие 996 студентов очной формы обучения (60 % от общего контингента), 164 преподавателя (98 % от числа научно-педагогических работников) и 88 представителей организаций-работодателей (93 % от числа партнеров). Анкеты включали закрытые и открытые вопросы; оценка производилась по 5-балльной шкале. Для обработки данных использовались методы описательной статистики и контент-анализ.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ удовлетворенности показал высокий уровень оценок: 76,2 % ответов студентов, 72,8 % преподавателей и 85 % работодателей выбрали вариант «полностью удовлетворен» (табл. 1). Отрицательные оценки единичны, что свидетельствует об отсутствии системных сбоев в организации образовательного процесса.

Детальный анализ по факультетам выявил существенные различия в структуре удовлетворенности. На факультете истории, филологии, управления и права 88 % опрошенных поставили максимальную оценку, тогда как на факультете естественно-научного образования этот показатель составил 76 %, а на факультете иностранных языков – 65 %. На факультете художественного и музыкального образования доля максимальных оценок составила 70 %, что сопоставимо со средними показателями по университету. Таким образом, при общем высоком уровне удовлетворенности наблюдаются локальные различия, что подтверждает гипотезу исследования.

Работодатели высоко оценили подготовку выпускников (85 %), отметив высокий уровень коммуникативных навыков (78 %), но указали на дефицит опыта работы с современным программным обеспечением (42 %) и потребность в улучшении цифровых компетенций.

В ЧГПУ им. И.Я. Яковлева для организации учебного процесса внедрена балльно-рейтинговая система (**БРС**), позволяющая контролировать учебную, исследовательскую и самостоятельную работу студентов. БРС помогает отслеживать посещаемость и своевременность выполнения учебных работ, однако фиксирует преимущественно текущую успева-

емость и не оценивает качественную сторону подготовки. Анализ открытых вопросов показал, что студенты указывают на необходимость обновления компьютерной техники и программного обеспечения, а также отмечают сбои в доступе к ЭИОС извне, что критично при смешанном формате обучения. Удовлетворенность качеством подключения к ЭИОС и оперативность реагирования администрации являются важными факторами, влияющими на общее восприятие качества услуг вуза.

Полученные результаты согласуются с общероссийской практикой использования социологических опросов как базового элемента ВСОКО [4; 5]. Высокий уровень удовлетворенности коррелирует с данными Северо-Осетинского государственного университета [4], а выявленные проблемы материально-технической базы и цифровой инфраструктуры подтверждают наблюдения Т.В. Третьяковой и Т.Е. Алексеевой о типичности данных «зон роста» для современных вузов [7]. Применяемая в университете БРС, как и в исследованиях С.В. Титовой, показала свою эффективность в качестве инструмента оперативного контроля, однако требует дополнения комплексными механизмами оценки с участием всех стейкхолдеров [8; 9].

Заключение. Результаты мониторинга в ЧГПУ им. И.Я. Яковлева демонстрируют высокий уровень удовлетворенности участников образовательного процесса.

Выявленные зоны роста указывают на необходимость:

1) совершенствования материально-технической базы, особенно для творческих и технических профилей, а также развития цифровой инфраструктуры для обеспечения бесперебойного доступа к образовательным ресурсам;

2) разделения инструментов контроля успеваемости (БРС) и инструментов оценки качества программ (ВСОКО);

3) усиления практико-ориентированной подготовки с акцентом на развитие цифровых компетенций в соответствии с запросами работодателей.

Удовлетворенность студентов и преподавателей является достоверным индикатором качества, который требует системного мониторинга и учета при принятии управленческих решений.

Дальнейшие исследования планируется направить на корреляционный анализ между удовлетворенностью обучающихся и трудоустройством выпускников.

Литература

1. Об образовании в Российской Федерации : Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174.

2. О методических рекомендациях : Письмо Министерства образования и науки РФ от 15 февраля 2018 г. № 05-436 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://минобрнауки.рф.

3. Бодина, О.В. Современное состояние образовательного процесса в вузах и пути повышения его эффективности / О.В. Бодина, А.Э. Писковацкова, М.В. Макарова, Д.С. Тишков // Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 4. – DOI: 10.17513/spno.27741 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://science-education.ru/ru/article/view?id=27741.

4. Дзусов, И.И. Система оценки качества образования в вузе как основа эффективного управления / И.И. Дзусов, Я.В. Дряева // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2023. – Т. 6. – № 12(141). – С. 5–12. – DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.12.06.001.

5. Лагусева, Н.Н. Исследование степени удовлетворенности студентов и преподавателей образовательным процессом в формате внутренней системы оценки качества образования в вузе / Н.Н. Лагусева, В.А. Жидких, И.В. Зорин // Вестник РМАТ. – 2022. – № 4. – С. 44–53.

6. Сафонов, К.Б. Содержание и качество образования как факторы профессиональной адаптации выпускников педагогического университета / К.Б. Сафонов // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпинт. – 2023. – № 8(167). – С. 275–277.

7. Третьякова, Т.В. Внутренняя система оценки качества образования в вузе / Т.В. Третьякова, Т.Е. Алексеева // Стандарты и качество. – 2020. – № 11. – С. 43–49.

8. Титова, С.В. Оценка эффективности управления качеством образования вуза / С.В. Титова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 8-2(59). – С. 62–66. – DOI: 10.24412/2500-1000-2021-8-2-62-66.

9. Ускова, Н.Г. Управление качеством образования в вузе: проблемы и перспективы развития / Н.Г. Ускова // Проблемы теории и практики управления. – 2025. – № 2. – С. 61–80.

References

1. Ob obrazovanii v Rossijskoj Federatsii : Federalnij zakon ot 29.12.2012 № 273-FZ [Electronic resource]. – Access mode : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174.

2. O metodicheskikh rekomendatsiyakh : Pismo Ministerstva obrazovaniya i nauki RF ot 15 fevralya 2018 g. № 05-436 [Electronic resource]. – Access mode : http://minobrnauki.rf.

3. Bodina, O.V. Sovremennoe sostoyanie obrazovatelnogo protsessa v vuzakh i puti povysheniya ego effektivnosti / O.V. Bodina, A.E. Piskovatskova, M.V. Makarova, D.S. Tishkov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2018. – № 4. – DOI: 10.17513/spno.27741 [Electronic resource]. – Access mode : https://science-education.ru/ru/article/view?id=27741.

4. Dzusov, I.I. Sistema otsenki kachestva obrazovaniya v vuze kak osnova effektivnogo upravleniya / I.I. Dzusov, YA.V. Dryaeva // Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. – 2023. – T. 6. – № 12(141). – S. 5–12. – DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.12.06.001.

5. Laguseva, N.N. Issledovanie stepeni udovletvorennosti studentov i prepodavatelej obrazovatelnym protsessom v formate vnutrennej sistemy otsenki kachestva obrazovaniya v vuze / N.N. Laguseva, V.A. ZHidkikh, I.V. Zorin // Vestnik RMAT. – 2022. – № 4. – S. 44–53.

6. Safonov, K.B. Soderzhanie i kachestvo obrazovaniya kak faktory professionalnoj adaptatsii vypusknikov pedagogicheskogo universiteta / K.B. Safonov // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBpint. – 2023. – № 8(167). – S. 275–277.

7. Tretyakova, T.V. Vnutrennyaya sistema otsenki kachestva obrazovaniya v vuze / T.V. Tretyakova, T.E. Alekseeva // Standarty i kachestvo. – 2020. – № 11. – S. 43–49.

8. Titova, S.V. Otsenka effektivnosti upravleniya kachestvom obrazovaniya vuza / S.V. Titova // Mezhdunarodnij zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. – 2021. – № 8-2(59). – S. 62–66. – DOI: 10.24412/2500-1000-2021-8-2-62-66.

9. Uskova, N.G. Upravlenie kachestvom obrazovaniya v vuze: problemy i perspektivy razvitiya / N.G. Uskova // Problemy teorii i praktiki upravleniya. – 2025. – № 2. – S. 61–80.

© Л.Г. Васильева, С.В. Ильина, Е.А. Ильина, 2026

УДК 332.021.8

ПРОТИВОРЕЧИЯ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ ОСНОВНЫХ ИНСТИТУТОВ СОЦИАЛИЗАЦИИ В РОССИИ

Е.В. ГРЯЗНОВА, Л.П. ПОТАТИНА, А.Г. ПОТАТИН

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина»,
г. Нижний Новгород

Ключевые слова и фразы: церковь; государство; образование; молодежная политика; православие.

Аннотация: В современном российском обществе в связи с поиском эффективных путей разрешения духовного кризиса со стороны основных институтов социализации личности ведется активная разработка новых программ молодежной политики. При этом важным шагом является изучение и систематизация существующих противоречий в данном вопросе.

Целью данного исследования является изучение основных проблем и противоречий молодежной политики государства и церкви.

Методология и методы исследования: метод аналитического обзора, анализ, сравнение, обобщение. Авторы продолжают в данной работе развитие тематики роли русской православной церкви в преодолении современного духовного кризиса в России.

Проведенное исследование показало, что основные институты социализации личности, разрабатывая программы молодежной политики, не всегда действуют согласованно. В результате возникают противоречия, на решение которых необходимо привлекать не только опыт государства и гражданского общества, но и церкви. Необходима выработка единых стратегий по разработке и реализации молодежной политики государственных и религиозных институтов социализации личности.

Последние десятилетия цифровизации общественного пространства наша страна испытывает на себе сильнейшее информационное воздействие. В качестве отрицательного аспекта следует отметить применение современных технологий для манипуляции сознанием людей. В первую очередь они направлены на молодежь. Такой подход уже сработал в годы перестройки, к сожалению, принеся для России невосполнимые духовные потери нескольких поколений.

Сегодня ситуация обострена геополитическим противостоянием нашей страны по многим направлениям. Для того чтобы преодолеть духовный кризис, без чего стабильное развитие остальных сфер жизни невозможно, необходимо обратить внимание на те социальные институты в обществе, которые отвечают за социальное здоровье молодого поколения. К таковым следует отнести семью, образование и религиозные организации.

Если семье и образованию в научной педагогической литературе посвящен достаточно широкий спектр исследований [6; 9], то Русская православная церковь (**РПЦ**) как институт социализации изучена в недостаточной степени.

Анализируя модель социального воспитания молодежи Русской православной церкви, группа исследователей отмечает следующие проблемы в проведении современным российским государством молодежной политики: «Выявлен ряд дефицитов государственной молодежной политики, среди которых наиболее значимыми являются: воспроизводство гедонистически ориентированного дискурса, нормативная амбивалентность системы управления

молодежным транзитом, неразвитость деятельностных технологий работы с молодежью, а также отсутствие преемственности и синхронизации между институтами сопровождения детства и собственно молодости. Обоснован вывод о том, что поиск источников их устранения в советской модели работы с молодежью является не конструктивным» [8, с. 67].

Соглашаясь с позицией авторов, важно отметить те противоречия, с которыми сталкивается современная государственная молодежная политика. Во-первых, современное российское общество выработало и внедрило в массовое сознание идею индивидуализации, которая вступает в диалектическое противоречие с идеей коллективизации (советская государственная политика) и соборностью (РПЦ). Как следствие, сегодня мы имеем поколение людей, для которых комфортная жизнь, карьера, социальный статус становятся приоритетными ценностями. «Современная молодежь, воспитанная на западных ценностях, стремится к гедонизму, получению от жизни удовольствия – этот принцип воспитания десятилетиями пропагандировался новой элитой после распада Советского Союза. В результате преступной приватизации всего его наследия появились новые собственники, которые предпочитали жить за рубежом, а страну и ее граждан использовали как сырьевой придаток, выводя все заработанные средства за границу и не развивая экономику страны. В этих условиях до настоящего времени молодежь России всячески стремилась уехать на Запад для получения образования и дальнейшей жизни, воспринимая западную культуру «идеалом и целью» [7].

Второй тип противоречия заключается в том, что современная молодежная политика основана на жестком нормативно-правовом регулировании, где на первом месте стоит контроль и пресечение правонарушений со стороны молодых людей. Эта ситуация вызвана сложным положением, созданным гибридными войнами. Однако оно не способствует развитию творческой свободы и самостоятельности молодых людей, а, скорее всего, склоняет их к пассивному подчинению, имитации реальной деятельности. Это проявляется особо остро в системе образования, которая очень слабо связана с выходом на практику, отрывая даваемые знания от практической их реализации.

Третье серьезное противоречие, с которым сталкивается современная молодежь, – это отсутствие преемственности между институтами социализации, его формами и видами. Современный молодой человек может получать начальное образование в одной системе, среднее в другой, а профессиональное в третьей. С одной стороны, это правильно и позволяет постепенно идти к осознанному выбору будущей профессии. Но, с другой стороны, такая траектория социализации должна иметь общие основания, выбирать которые самостоятельно ребенок может только в определенных условиях или с помощью взрослых. Разрозненность субъектов социализации не позволяет вырабатывать единые стратегии становления личности, направленные на ее всестороннее развитие.

Русская православная церковь активно включается в разработку новых стратегий социализации личности. В отличие от иных социальных институтов современного общества, она может предложить строгую систему традиционных ценностей. Особенностью молодежной политики, которую реализует современная русская православная церковь, является единство теории и практики при передаче социального опыта. В ходе получения православного образования субъекты социализации не оторваны друг от друга, а находятся в ситуации непосредственного взаимодействия. Церковь в этом случае является не только общим домом, но и храмом образования и воспитания. Среда приходов, в которых формируется будущая личность, приобщает молодых людей к строгости соблюдения общих правил поведения, ответственности за свои поступки, духовному самосовершенствованию.

Православная церковь не только создает образцы общественного идеала, но и принимает активное участие в жизни гражданского общества. Это проявляется во влечении молодежи в миссионерскую и благотворительную деятельность, включение ее в социальную работу, проводимую на основе соработничества церкви и государства.

Таким образом, можно выделить ряд социальных технологий, которые стоит взять на вооружение современным институтам социализации личности.

Во-первых, это система православного образования, в которую на единых началах включены все уровни общего и дополнительного образования (православные дошкольные и школьные учреждения, духовные семинарии и академии, учреждения дополнительного об-

разования). Особенностью такого образования является, с одной стороны, опора на традиционные учения церкви, а с другой стороны, привлечение новых современных педагогических технологий.

Во-вторых, современная церковь не чуждается цифровых технологий, а, напротив, грамотно и активно их использует. Сегодня цифровой контент православной литературы, искусства и науки доступен и адаптирован к условиям современной культуры. Создаются виртуальные музеи, туры и экскурсии, позволяющие расширить границы для православного образования и просвещения.

В-третьих, в социализацию личности, которая происходит на базе религиозных организаций, включены активные формы воспитания. Они основаны на принципах православной традиции и объясняют современным молодым людям способы выхода из сложных жизненных ситуаций, на живых примерах показывают положительный опыт нравственных поступков и поведения. «… РПЦ через духовное просвещение и образовательные программы стремится развить и закрепить моральные устои молодежи, привить ей традиционные ценности и вовлечь в активную общественную жизнь» [1, с. 414].

Представим соответствующие выводы.

1. В ходе проведенного исследования был выявлен ряд основных противоречий в молодежной политике со стороны государства:

– между нормативными ограничениями и творческой инициативой молодого поколения;

– отсутствие преемственности между институтами социализации, регулируемыми государством;

– неразвитость эффективных технологий работы с молодежью.

2. Молодежная политика, проводимая РПЦ, оказывается более эффективным инструментом социализации личности, т.к. в ее основе лежат просветительская и воспитательная функции, реализующие православные традиции российского общества.

3. Для разработки эффективных механизмов реализации молодежной политики в современном российском обществе необходимо обращение к опыту русской православной церкви и его адаптации к условиям светской культуры на основе тесного взаимодействия церкви, государства и гражданского общества.

Литература

1. Алфимова, П.А. Молодежная политика Русской православной церкви / П.А. Алфимова // Научный альманах «В зеркале права» : сборник научных трудов. – Липецк : Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2025. – С. 412–414.

2. Воробьев, Д.И. Проблемы и перспективы развития молодежной политики в условиях государственной поддержки / Д.И. Воробьев, М.Ф. Хайруллин // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2024. – № 8. – С. 34–37. – DOI: 10.37882/2223-2974.2024.08.10.

3. Грязнова, Е.В. Принципы православной педагогики как основа современного воспитания / Е.В. Грязнова, Ж.В. Смирнова, Е.Г. Скачкова // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2025. – № 5-2(170). – С. 240–243.

4. Грязнова, Е.В. Роль православия в духовном воспитании современной молодежи / Е.В. Грязнова, М.А. Андриянов, М.М. Смирнова // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2025. – № 1(166). – С. 152–154.

5. Грязнова, Е.В. Современная русская православная церковь в решении вопросов духовно-нравственного воспитания: основные проблемы и пути их решения / Е.В. Грязнова, С.В. Пронина, М.М. Воробьева // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2025. – № 2(167). – С. 229–232.

6. Катушенко, О.А. Образовательная симуляция как инструмент проектирования персональной образовательной среды будущих педагогов / О.А. Катушенко, Р.У. Арифулина // Вестник Мининского университета. – 2025. – Т. 13. – № 1(50). – DOI: 10.26795/2307-1281-2025-13-1-4.

7. Болгов, Н.В. Проблемы и принципы развития молодежной политики в России в формировании гражданской идентичности и патриотизма / Н.В. Болгов, С.А. Попова, К.А. Курочкин, И.А. Нюхалов // Либерально-демократические ценности. – 2024. – Т. 8. – № 4. – С. 58–66.

8. Смирнов, В.А. Модель социального воспитания молодежи Русской православной церкви:

аксиология, методология, социальные технологии / В.А. Смирнов, В.В. Груздев, Л.Н. Смирнова // Science for Education Today. – 2025. – Т. 15. – № 1. – С. 66–89. – DOI: 10.15293/2658-6762.2501.04.

9. Milkevich, O.A. Training of Teaching Staff in the Context of the Transformation of the Value of Family and Childhood / O.A. Milkevich, A.V. Gileva, E.V. Vatina // Perspectives of Science and Education. – 2023. – No. 2(62). – P. 125–140. – DOI: 10.32744/pse.2023.2.7.

References

1. Alfimova, P.A. Molodezhnaya politika Russkoj pravoslavnoj tserkvi / P.A. Alfimova // Nauchnij almanakh «V zerkale prava» : sbornik nauchnykh trudov. – Lipetsk : Lipetskij gosudarstvennij pedagogicheskij universitet imeni P.P. Semenova-Tyan-SHanskogo, 2025. – S. 412–414.

2. Vorobev, D.I. Problemy i perspektivy razvitiya molodezhnoj politiki v usloviyakh gosudarstvennoj podderzhki / D.I. Vorobev, M.F. KHajrullin // Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo. – 2024. – № 8. – S. 34–37. – DOI: 10.37882/2223-2974.2024.08.10.

3. Gryaznova, E.V. Printsipy pravoslavnoj pedagogiki kak osnova sovremennogo vospitaniya / E.V. Gryaznova, ZH.V. Smirnova, E.G. Skachkova // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : NTF RIM. – 2025. – № 5-2(170). – S. 240–243.

4. Gryaznova, E.V. Rol pravoslaviya v dukhovnom vospitanii sovremennoj molodezhi / E.V. Gryaznova, M.A. Andriyanov, M.M. Smirnova // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : NTF RIM. – 2025. – № 1(166). – S. 152–154.

5. Gryaznova, E.V. Sovremennaya russkaya pravoslavnaya tserkov v reshenii voprosov dukhovno-nravstvennogo vospitaniya: osnovnye problemy i puti ikh resheniya / E.V. Gryaznova, S.V. Pronina, M.M. Vorobeva // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : NTF RIM. – 2025. – № 2(167). – S. 229–232.

6. Katushenko, O.A. Obrazovatelnaya simulyatsiya kak instrument proektirovaniya personalnoj obrazovatelnoj sredy budushchikh pedagogov / O.A. Katushenko, R.U. Arifulina // Vestnik Mininskogo universiteta. – 2025. – T. 13. – № 1(50). – DOI: 10.26795/2307-1281-2025-13-1-4.

7. Bolgov, N.V. Problemy i printsipy razvitiya molodezhnoj politiki v Rossii v formirovanii grazhdanskoj identichnosti i patriotizma / N.V. Bolgov, S.A. Popova, K.A. Kurochkin, I.A. Nyukhalov // Liberalno-demokraticheskie tsennosti. – 2024. – T. 8. – № 4. – S. 58–66.

8. Smirnov, V.A. Model sotsialnogo vospitaniya molodezhi Russkoj pravoslavnoj tserkvi: aksiologiya, metodologiya, sotsialnye tekhnologii / V.A. Smirnov, V.V. Gruzdev, L.N. Smirnova // Science for Education Today. – 2025. – T. 15. – № 1. – S. 66–89. – DOI: 10.15293/2658-6762.2501.04.

© Е.В. Грязнова, Л.П. Потатина, А.Г. Потатин, 2026

УДК 37.013

МЕДИЙНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ ГРАМОТНОСТЬ КАК КОМПОНЕНТ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ БУДУЩЕГО ИНЖЕНЕРА

Д.А. ДУБОВЕР

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова и фразы: медийно-информационная грамотность (**МИГ**); медиаобразование; инженерное образование; профессиональная подготовка инженера; медиакомпетентность; цифровая грамотность.

Аннотация: В статье анализируется медийно-информационная грамотность как компонент профессиональной подготовки будущего инженера. В качестве цели исследования раскрывается актуальность формирования МИГ в условиях цифровизации инженерной деятельности, роста объема профессионально значимой информации, распространения цифровых платформ, мультимодальных форм представления данных и повышения рисков использования недостоверного контента. Задачи включали анализ широкого спектра научно-методологических источников, сфокусированных вокруг проблемы изучения специфики медийно-информационной грамотности, в частности, в дискурсе инженерного образования. Методологическую основу составили историко-педагогический, сравнительный и институциональный подходы. Гипотеза заключалась в предположении о понятийно-терминологической рассогласованности тематического поля «медиаобразование» и наличии специфических характеристик медийно-информационной грамотности в инженерном образовании. В результате были проанализированы отечественные и зарубежные подходы к пониманию медиаобразования, медиаграмотности, информационной грамотности, медиакомпетентности и инженерной информационной подготовки. Особое внимание уделено специфике инженерной деятельности, в которой работа с информацией, технической документацией, патентами, стандартами, цифровыми моделями и медиапредставлением проектных решений приобретает профессионально значимый характер.

Современная информационная среда существенно меняет условия профессиональной деятельности инженера. Рост объема информации, многоканальность ее распространения, развитие цифровых платформ, мобильных приложений, технологий виртуальной и дополненной реальности, а также возрастающая роль искусственного интеллекта в обработке и генерации данных формируют новую ситуацию профессионального действия. Инженеру приходится работать не только с технической документацией, патентами, стандартами и научными статьями, но и с цифровыми интерфейсами, результатами моделирования, мультимодальными визуализациями, пользовательскими сообщениями и иными источниками, качество которых не всегда очевидно.

Переход к цифровой экономике, развитие Индустрии 4.0, Интернета вещей, облачных технологий и систем мониторинга в реальном времени требуют от будущего инженера не только специальных технических знаний, но и способности критически воспринимать, анализировать, сопоставлять и использовать информацию, представленную в разных форматах.

В этой связи актуализируется проблема медийно-информационной грамотности, которая позволяет рассматривать работу с информацией и медиа не как внешний по отношению к профессии навык, а как условие качественного инженерного решения.

Значимость гуманитарной и критико-ана-

литической составляющей инженерной подготовки подчеркивается и в современном научно-общественном дискурсе. А.О. Чубарьян и А.А. Исэров, говоря о приоритетах гуманитарных и общественных наук, характеризуют их как пространство критического мышления, позволяющее видеть сложность социальных процессов и опасность поиска простых ответов на вопросы общественного развития [8]. Применительно к инженерному образованию этот тезис важен потому, что техническое решение все чаще связано с экономическими, экологическими, организационными и социальными последствиями.

В рамках заседания Совета по науке и образованию 6 февраля 2025 г. президентом России В.В. Путиным также была обозначена необходимость подготовки инженеров, способных не только владеть современными техническими средствами, но и генерировать уникальные решения для новых индустрий, использовать передовые методы проектирования и конструирования [10]. Такая постановка вопроса усиливает значение компетенций, обеспечивающих критическую работу с информацией, понимание контекста и ответственное представление инженерных решений.

В отечественной педагогической литературе проблема медиакомпетентности будущего инженера получила развитие в работах С.В. Миндеевой. Автор рассматривает медиакомпетентность как профессионально важное качество личности, обеспечивающее готовность действовать в системе «инженер – медиа – общество» [6; 7]. Эта позиция особенно значима для настоящего исследования, поскольку позволяет вывести медиаобразование за пределы факультативного или общекультурного блока и рассматривать его как часть профессиональной подготовки студентов инженерных направлений.

Г.А. Кручинина и Т.В. Шилова связывают информационную компетентность инженера с поиском, обработкой, использованием и представлением информации в решении профессиональных задач [5]. А.Д. Арнаутов, анализируя подготовку будущих бакалавров-металлургов, показывает, что формирование информационной компетентности должно иметь системный и распределенный характер, опираться на комплекс профессионально ориентированных информационно-технологических задач [1].

Эти подходы позволяют рассматривать МИГ не как отдельный учебный навык, а как компонент профессионального становления инженера.

При этом само понятийное поле остается недостаточно устойчивым. И.В. Жилавская рассматривает медийно-информационную грамотность через призму конвергенции медиаграмотности и информационной грамотности, что позволяет объединить в одной рамке доступ к информации, ее анализ, оценку, интерпретацию, создание и ответственное использование [3]. И.С. Назметдинова, К.М. Куличев и С.С. Столярова отмечают, что в отечественной и зарубежной науке понятия «медиаграмотность» и «медиаобразование» продолжают использоваться неоднозначно [8].

Важным аспектом медийно-информационной грамотности инженера становится владение технологиями искусственного интеллекта. Как отмечает М.М. Конколь, «искусственный интеллект обладает потенциалом для значительного улучшения сектора образования и обеспечения персонализированного и эффективного обучения для учащихся» [4].

Опыт медиаобразовательной проектной деятельности студентов технических специальностей также показывает, что медиаобразование может выступать ресурсом развития социальных, коммуникативных и профессионально значимых компетенций. В авторском исследовании социальных и личностных компетенций было продемонстрировано, что проектная деятельность позволяет включать студентов технических направлений в разработку медиапродуктов, командное взаимодействие, поиск и представление информации, что усиливает практическую направленность подготовки [2].

Структура МИГ будущего инженера может быть представлена пятью взаимосвязанными компонентами.

Информационно-аналитический компонент включает способность распознавать информационную потребность, формулировать запрос, находить и сопоставлять научные, нормативные и технические источники.

Медиакоммуникативный компонент связан с представлением инженерного знания через тексты, схемы, визуализации, презентации и проектные обсуждения.

Цифрово-деятельностный компонент предполагает осмысленное использование цифровых платформ, интерфейсов, моделей и интеллектуальных систем.

Критико-рефлексивный компонент обеспечивает оценку достоверности, полноты и применимости информации, выявление ограничений источников и понимание контекста происхождения данных.

Этико-безопасностный компонент связан с ответственным использованием информации, соблюдением академической и профессиональной добросовестности, учетом рисков распространения ошибочных данных и пониманием последствий медиапредставления инженерных решений.

Таким образом, медийно-информационная грамотность будущего инженера не должна рассматриваться как факультативный курс или вспомогательная по отношению к профессии компетенция. Наиболее продуктивной представляется модель, при которой работа с информацией, медиа и цифровыми инструментами включается в инженерные дисциплины, проектную деятельность, исследовательские задания и междисциплинарные образовательные модули.

Перспективы дальнейшего исследования связаны с разработкой критериев и показателей сформированности медийно-информационной грамотности будущего инженера, а также с проектированием диагностических и педагогических инструментов ее формирования в бакалавриате и магистратуре.

Отдельного внимания требует проверка предложенной структуры в реальных образовательных практиках технического университета.

Литература

1. Арнаутов, А.Д. Формирование информационной компетентности будущих бакалавров-металлургов в процессе освоения дисциплины «Информационные сервисы» с использованием комплекса информационно-технологических задач : дис. … канд. пед. наук / А.Д. Арнаутов. – Красноярск, 2017. – 211 с.

2. Дубовер, Д.А. Развитие социальных компетенций у студентов технических специальностей средствами медиаобразовательной проектной деятельности / Д.А. Дубовер // Мир науки. Педагогика и психология. – 2018. – Т. 6. – № 6.

3. Жилавская, И.В. Медийно-информационная грамотность через призму конвергенции и дивергенции / И.В. Жилавская // Коммуникации. Медиа. Дизайн. – 2016. – Т. 1. – № 2.

4. Конколь, М.М. Анализ опыта внедрения нейросетевых технологий в зарубежной высшей школе / М.М. Конколь // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 3(186).

5. Кручинина, Г.А. Формирование информационной компетентности студентов инженерных специальностей / Г.А. Кручинина, Т.В. Шилова // Образование и наука. – 2013. – № 2(101). – С. 85–96.

6. Миндеева, С.В. Медиакомпетентность как составляющая профессиональной компетентности будущего инженера / С.В. Миндеева // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 3(98). – С. 277–281.

7. Миндеева С.В. Медиакомпетентность будущего инженера: компонентный состав, критерии и показатели / С.В. Миндеева // Медиаобразование. – 2017. – № 3. – С. 45–53.

8. Назметдинова, И.С. Понятия «медиаграмотность» и «медиаобразование» в отечественной и зарубежной науке / И.С. Назметдинова, К.М. Куличев, С.С. Столярова // Проблемы современного педагогического образования. – 2024. – № 85-3. – С. 236–239.

9. Чубарьян, А.О. Большая история: от Большого взрыва до глобализации. О приоритетах развития гуманитарных и общественных наук в России / А.О. Чубарьян, А.А. Исэров // Независимая газета. – 11.04.2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ng.ru/science/2018-04-11/9_7209_history.html.

10. Заседание Совета по науке и образованию / Президент России: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://kremlin.ru/events/president/news/76222.

References

1. Arnautov, A.D. Formirovanie informatsionnoj kompetentnosti budushchikh bakalavrov-metallurgov v protsesse osvoeniya distsipliny «Informatsionnye servisy» s ispolzovaniem kompleksa informatsionno-tekhnologicheskikh zadach : dis. … kand. ped. nauk / A.D. Arnautov. – Krasnoyarsk,

2017. – 211 s.

2. Dubover, D.A. Razvitie sotsialnykh kompetentsij u studentov tekhnicheskikh spetsialnostej sredstvami mediaobrazovatelnoj proektnoj deyatelnosti / D.A. Dubover // Mir nauki. Pedagogika i psikhologiya. – 2018. – T. 6. – № 6.

3. ZHilavskaya, I.V. Medijno-informatsionnaya gramotnost cherez prizmu konvergentsii i divergentsii / I.V. ZHilavskaya // Kommunikatsii. Media. Dizajn. – 2016. – T. 1. – № 2.

4. Konkol, M.M. Analiz opyta vnedreniya nejrosetevykh tekhnologij v zarubezhnoj vysshej shkole / M.M. Konkol // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 3(186).

5. Kruchinina, G.A. Formirovanie informatsionnoj kompetentnosti studentov inzhenernykh spetsialnostej / Kruchinina G.A., SHilova T.V. // Obrazovanie i nauka. – 2013. – № 2(101). – S. 85–96.

6. Mindeeva, S.V. Mediakompetentnost kak sostavlyayushchaya professionalnoj kompetentnosti budushchego inzhenera / S.V. Mindeeva // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2015. – № 3(98). – S. 277–281.

7. Mindeeva S.V. Mediakompetentnost budushchego inzhenera: komponentnij sostav, kriterii i pokazateli / S.V. Mindeeva // Mediaobrazovanie. – 2017. – № 3. – S. 45–53.

8. Nazmetdinova, I.S. Ponyatiya «mediagramotnost» i «mediaobrazovanie» v otechestvennoj i zarubezhnoj nauke / I.S. Nazmetdinova, K.M. Kulichev, S.S. Stolyarova // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. – 2024. – № 85-3. – S. 236–239.

9. CHubaryan, A.O. Bolshaya istoriya: ot Bolshogo vzryva do globalizatsii. O prioritetakh razvitiya gumanitarnykh i obshchestvennykh nauk v Rossii / A.O. CHubaryan, A.A. Iserov // Nezavisimaya gazeta. – 11.04.2018 [Electronic resource]. – Access mode : http://www.ng.ru/science/2018-04-11/9_7209_history.html.

10. Zasedanie Soveta po nauke i obrazovaniyu / Prezident Rossii: ofitsialnij sajt [Electronic resource]. – Access mode : http://kremlin.ru/events/president/news/76222.

© Д.А. Дубовер, 2026

УДК 378.147

ИМИТАЦИОННАЯ ДЕЛОВАЯ ИГРА «МОДЕЛЬ ООН» КАК ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ У СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

А.И. ЕРМОЧЕНКО

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: модель ООН; имитационная деловая игра; педагогическая технология; образование для устойчивого развития; универсальные компетенции; компетентностный подход; технический университет.

Аннотация: Цель исследования – обосновать педагогическую эффективность имитационной деловой игры «Модель ООН» и определить условия ее применения для формирования компетенций устойчивого развития у студентов технического университета. Для этого проанализированы теоретические основания имитационных и деловых игр в образовании для устойчивого развития, разработана методика «Модели ООН», адаптированная к формату двух практических занятий, и оценены ее образовательные результаты и ограничения. Гипотеза состоит в том, что включение игры в дисциплину «Концепция устойчивого развития» обеспечивает значимый прирост самооценки универсальных компетенций (критическое мышление, коммуникация, командная работа) и предметных знаний о механизмах ООН и Целях устойчивого развития. В исследовании использованы теоретический анализ, опытное обучение (четыре потока 2022–2025 гг., $n = 115$), анонимное анкетирование по шкале Лайкерта «до» и «после» игры, педагогическое наблюдение, контент-анализ учебных продуктов. Показано, что участие в игре приводит к приросту самооценки по всем параметрам (от +1,0 до +2,1 балла), максимальному – по показателю «понимание механизмов работы ООН», а 80 % студентов назвали игру наиболее запоминающимся элементом курса, что подтверждает ее высокую мотивационную и развивающую эффективность и целесообразность тиражирования в другие дисциплины устойчивого развития.

В контексте реализации Целей устойчивого развития ООН [1], Указа Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [2], а также национального проекта «Молодежь и дети» (2025–2030) [3] высшая школа призвана обеспечивать формирование у студентов знаний, умений и ценностных ориентаций, необходимых для содействия устойчивому развитию, включая ответственное профессиональное поведение и готовность к межсекторному диалогу по глобальным вызовам.

Под концепцией устойчивого развития в настоящей статье понимается принятая на уровне ООН стратегия сбалансированного развития общества и экономики, обеспечивающая согласование экологических, социальных и экономических интересов нынешних и будущих поколений [4].

Цели устойчивого развития (**ЦУР**) – это 17 глобальных целей, принятых государствами – членами ООН в 2015 г. в качестве универсальной повестки до 2030 г., охватывающей борьбу с бедностью, обеспечение качества образования, климатические действия, ответственное потребление и другие приоритеты [5].

Подготовка специалистов, понимающих логику ЦУР и способных транслировать ее в профессиональную деятельность, рассматривается как стратегическая задача образования для устойчивого развития (**ОУР**) [6].

Цель исследования – обосновать педагогическую эффективность и определить дидактические условия применения имитационной деловой игры «Модель ООН» в рамках дисциплины «Концепция устойчивого развития» технического университета (на примере ИТМО) и оценить ее вклад в формирование компетенций устойчивого развития у студентов направления 05.03.06 «Экология и природопользование». Практическая значимость состоит в том, что разработанная технология «Модель ООН» является готовым к внедрению инструментом, адаптированным к формату двух практических занятий (3 академических часа без увеличения нагрузки) и ориентированным на формирование предметных знаний о ЦУР и международно-правовых механизмах, а также универсальных компетенций УК 1, УК 3, УК 4 по ФГОС ВО 3++ [7].

Гипотеза исследования состоит в том, что применение имитационной деловой игры «Модель ООН» в дисциплине «Концепция устойчивого развития» обеспечивает значимый прирост самооценки обучающихся по параметрам, отражающим универсальные компетенции УК 1, УК 3, УК 4 (ФГОС ВО 3++), а также предметные знания о механизмах ООН и Целях устойчивого развития. Для проверки гипотезы поставлены задачи: 1) на основе анализа литературы по активным методам обучения обосновать педагогическую эффективность деловых игр дипломатического типа как средства формирования универсальных компетенций в техническом вузе; 2) разработать и описать сценарий имитационной деловой игры «Модель ООН», адаптированный к условиям реализации дисциплины «Концепция устойчивого развития» для студентов направления 05.03.06; 3) оценить образовательные результаты технологии по данным опытного обучения, анкетирования по шкале Лайкерта, педагогического наблюдения и контент-анализа продуктов учебной деятельности.

В исследовании использовался комплекс взаимодополняющих методов. Теоретический блок включал анализ и систематизацию литературы по активным и интерактивным методам обучения, имитационным и деловым играм, и образованию для устойчивого развития. Эмпирические методы охватывали анонимное анкетирование студентов по пятибалльной шкале Лайкерта «до» и «после» игры (с открытыми вопросами), педагогическое наблюдение в ходе игровых занятий и контент-анализ итоговых резолюций и подготовительных досье стран.

Эмпирическую базу составляли данные, полученные при реализации дисциплины «Концепция устойчивого развития» (направление 05.03.06 «Экология и природопользование», программа «Экотехнологии и устойчивое развитие») в Университете ИТМО в 2022–2025 гг.; в этом исследовании участвовали 115 студентов 1 курса очной формы обучения (4 академические группы). Дисциплина ориентирована на формирование представлений о концепции устойчивого развития, ЦУР и роли науки и технологий в их достижении, а ключевым элементом ее практической части выступила адаптированная имитационная деловая игра «Модель ООН», встроенная в два последовательных занятия суммарной продолжительностью 3 академических часа.

В современной педагогике высшей школы имитационные деловые игры рассматриваются как особый тип активных методов обучения, основанный на моделировании содержания и структуры профессиональной деятельности в учебных условиях [8]. Имитационная игра воспроизводит реальные процессы и ситуации (переговоры, принятие решений в условиях неопределенности), позволяя студентам примерять профессиональные роли и отрабатывать сценарии действий без реальных профессиональных рисков [9].

В отличие от отдельных игровых элементов, встроенных в традиционное занятие, имитационная игра формирует целостный дидактический контекст, в котором обучающиеся вынуждены учитывать ресурсные ограничения, нормативные рамки и интересы различных участников образовательного процесса [10].

Деловая игра выступает разновидностью имитационной, акцентированной на решении профессиональных задач в условиях коллективного взаимодействия и выработке согласованного результата; ее ключевые признаки – четко сформулированная цель, распределение ролей, регламент взаимодействия и критерии оценки [11]. «Модель ООН» определяется как имитационная деловая игра, воспроизводящая процедуры работы Организации Объединенных Наций

(**ООН**) и практику многосторонних дипломатических переговоров по глобальным проблемам: студенты выступают в ролях делегатов, секретарей, экспертов и председателя, действуя по регламенту заседаний, в логике официальной дипломатии и структуры итоговых документов. В массовой практике такие игры реализуются преимущественно в форме многодневных конференций (3–4 дня) на базе университетов международного, политического и юридического профиля и часто функционируют как формат внеучебной деятельности [12]. Данная технология сочетает характеристики имитационной и деловой игры: воссоздает институциональный контекст международной организации и ставит перед участниками задачу коллективной выработки резолюции, требующей согласования интересов и поиска компромиссов. Продолжительность позволяет приблизить учебную ситуацию к реальному формату многосторонних переговоров, но затрудняет регулярную интеграцию игры в одну учебную дисциплину с жестким аудиторным регламентом.

Концепция образования для устойчивого развития, закрепленная в документах ООН и ЮНЕСКО, рассматривает образование как ключевой инструмент реализации Повестки 2030 и достижения ЦУР; цель 4.7 предусматривает к 2030 г. формирование у всех обучающихся знаний и навыков для содействия устойчивому развитию, в том числе через гражданское воспитание, культуру мира и уважение культурного разнообразия [13]. В этом контексте «Модель ООН» реализует принцип деятельностного освоения ЦУР: студенты не только изучают цели как перечень, но и проживают механизмы их реализации на уровне международных переговоров, осваивая позиции и интересы разных государств.

Анализ публикаций показывает, что исследования «Модели ООН» в основном сосредоточены на гуманитарных и юридических направлениях и многодневных конференциях; адаптация этого формата к условиям технического университета, двухзанятийному аудиторному регламенту и компетентностной модели ФГОС ВО 3++ практически не описана, так же как и эмпирические данные о педагогических эффектах в техническом вузе. Это определяет научную проблему настоящего исследования. Научная новизна заключается в разработке и апробации адаптированной методики «Модель ООН» для двух практических занятий (3 акад. часа) в техническом университете, получении четырехлетних эмпирических данных (n = 115) о ее эффективности. Теоретическая значимость состоит в уточнении форм реализации ОУР в техническом университете, практическая – в готовности методики к тиражированию без дополнительных ресурсов.

Особенностью Университета ИТМО и программы «Экотехнологии и устойчивое развитие» является ориентация на подготовку технических специалистов с ядром инженерно-естественно-научных и цифровых компетенций. В этих условиях имитационная деловая игра позволяет целенаправленно формировать блок универсальных компетенций: критическое и стратегическое мышление (УК 1), командная работа (УК 3), коммуникация и публичное выступление (УК 4) по ФГОС ВО 3++. Участие в «Модели ООН» помогает будущим инженерам переводить профессиональные знания об экологических и технологических решениях на язык политики и регуляторики, что является важным условием их готовности к участию в национальных проектах и программах «зеленой» трансформации.

Структура реализованной педагогической технологии «Модель ООН» (авторская разработка) представлена в табл. 1, а ее полное методическое описание содержится в учебном пособии [14].

Апробация педагогической технологии проводилась на студентах первого курса бакалавриата направления 05.03.06 «Экология и природопользование» в Университете ИТМО в течение четырех учебных лет (2022–2025) на выборке из 4 академических групп (n = 115). Это позволило оценить реализацию методики в условиях вариативного состава групп при неизменности сценария занятия и критериев оценивания. Сбор данных осуществлялся тремя методами: анонимное электронное анкетирование по итогам дисциплины, педагогическое наблюдение в ходе игровых занятий и контент-анализ итоговых резолюций и подготовительных досье стран; в анкетировании приняли участие 115 из 150 обучающихся (76,7 %), агрегированные результаты представлены в табл. 2.

По всем измеряемым параметрам зафиксирован положительный прирост самооценки; наибольший рост наблюдается по показателю «понимание механизмов работы ООН и ЦУР» (+2,1 балла), что объясняется отсутствием у большинства студентов предыдущего опыта ра-

Таблица 1. Структура проведения имитационной игры «Модель ООН»

Элемент методической разработки	Содержание и организация	Педагогическая функция / формируемые компетенции
Подготовительный этап: характеристика страны	Самостоятельное изучение политической, экономической, экологической и культурной специфики государства	Поиск и анализ информации; предметные знания об устойчивом развитии в национальном контексте; критическое мышление
Подготовительный этап: анализ проблематики	Разбор кейса, статистики, соглашений и резолюций ООН по выбранной теме	Понимание связи экологических событий с социальной и экономической динамикой; работа с международными документами; ценностное отношение к ЦУР
Подготовительный этап: изучение деятельности ООН	Знакомство с мандатом органов и программ ООН, правилами процедуры заседаний	Освоение институционального контекста международного управления; ориентирование в нормативной среде
Распределение ролей в команде	Назначение делегата, секретаря, экспертов и распределение обязанностей	Командная работа, ролевое взаимодействие, ответственность за общий результат
Пленарные доклады делегатов	Краткие устные выступления, представляющие позицию страны и проект резолюции	Ораторское мастерство, аргументация, структурирование материала, удержание внимания
Круглый стол по согласованию резолюции	Обсуждение предложений, голосование по спорным пунктам, редактирование текста	Навыки переговоров, поиск компромиссов, принятие решений в конфликте интересов, стратегическое и системное мышление
Голосование и церемония закрытия	Принятие резолюции, подведение итогов, подписание документа	Опыт демократических процедур и консенсусного принятия решений, завершенное коллективное решение
Лист оценивания участия	Оценка полноты, логичности, примеров и соблюдения регламента	Обратная связь, развитие рефлексии, ориентация на качественный и процедурно корректный результат

Таблица 2. Результаты самооценки студентов по итогам деловой игры «Модель ООН»

Параметр самооценки	До игры, *M* ± *SD*	После игры, *M* ± *SD*	Прирост	Примечание
Понимание механизмов работы ООН	2,1 ± 0,8	4,2 ± 0,6	+2,1	Наибольший прирост
Знание ЦУР и глобальной повестки	2,9 ± 0,7	4,3 ± 0,5	+1,4	Устойчивый рост
Навык публичного аргументированного выступления	2,6 ± 0,9	3,8 ± 0,7	+1,2	Рост коммуникативной уверенности
Умение работать с официальными документами	2,4 ± 0,8	3,9 ± 0,6	+1,5	Существенный прирост
Навык командной работы и согласования позиций	3,1 ± 0,8	4,1 ± 0,6	+1,0	Умеренный рост
Общая вовлеченность в дисциплину	–	4,5 ± 0,5	–	Оценивалась только по итогам курса

боты с документами ООН. Высокий итоговый показатель общей вовлеченности (4,5 ± 0,5) дополнительно свидетельствует о выраженном мотивационном эффекте педагогической технологии.

Согласно ответам на открытый вопрос анкеты, 80 % респондентов (92 из 115) назвали деловую игру «Модель ООН» наиболее запоминающимся и эмоционально насыщенным элементом курса; контент-анализ выделил три ключевых плюса: мотивационный эффект дискуссии (аргументация позиции страны стимулировала самостоятельный поиск информации), системное углубление знаний о представляемой стране (рассмотрение экологической, экономической и политической ситуации во взаимосвязи) и «разрыв шаблона» в техническом вузе, когда дипломатический формат, резко отличаясь от привычных семинаров, повышал интерес к дисциплине.

Около 30 % студентов (34 из 115) отметили трудности, связанные с объемом самостоятельной подготовки (характеристика страны, анализ международных документов и новостных материалов), однако в итоговых отзывах эта нагрузка уже воспринималась как условие более глубокого понимания курса. Зафиксирована устойчивая связь между ролевой идентификацией (*role embodiment*) и активностью в дискуссии: соблюдение делового стиля одежды и использование символики страны интерпретируются как маркеры глубокого погружения и ресурс формирования коммуникативной и социально-культурной компетентности.

В то же время результаты основаны на самооценке, а не на объективном измерении компетенций стандартизированными инструментами; ретроспективный характер оценок «до игры» и отсутствие контрольной группы ограничивают возможность однозначно приписывать изменения только влиянию данной технологии, а выборка одного направления в одном вузе сужает обобщаемость выводов. В дальнейшем целесообразно использовать проспективный дизайн с предтестированием, включать контрольные группы и проводить сравнительные исследования на разных образовательных программах.

Проведенное исследование обосновало и апробировало «Модель ООН» как эффективную педагогическую технологию образования для устойчивого развития в техническом университете. На теоретическом уровне показано, что имитационные деловые игры дипломатического содержания органично вписываются в компетентностную модель высшего образования, обеспечивая одновременное формирование предметных знаний о ЦУР, Повестке-2030 и механизмах международного регулирования, а также универсальных компетенций, закрепленных в ФГОС ВО 3++; включение «Модели ООН» переводит усвоение содержания из информационного в деятельностный формат за счет имитации реальных процедур ООН.

Результаты четырехлетней апробации подтверждают, что даже в адаптированном, временно ограниченном формате игра обеспечивает значимый образовательный эффект: прирост самооценки по всем показателям, высокий уровень мотивации и вовлеченности (4,5 ± 0,5 балла по шкале Лайкерта) и признание «Модели ООН» 80 % студентов как наиболее запоминающегося элемента курса. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением эмпирической базы за счет сравнительного анализа разных уровней и направлений подготовки, введения контрольных групп и использования смешанных методов диагностики.

Литература

1. Резолюция Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций от 25 сентября 2015 г. № A/RES/70/1 «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». – Нью-Йорк : ООН, 2015. – 44 с.

2. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года : Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309.

3. Национальный проект «Молодежь и дети» : Паспорт национального проекта (утв. в 2025 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://government.ru/rugovclassifier/914/about.

4. Сериков, С.Г. Концепция устойчивого развития: теоретический аспект / С.Г. Сериков // Сибирская финансовая школа. – 2016. – № 4. – С. 36–40.

5. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development : Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, A/RES/70/1. – New York : United Nations, 2015. –

41 p. [Electronic resource]. – Access mode : https://undocs.org/A/RES/70/1.

6. Тищенко, Л.И. Особенности реализации образования для устойчивого развития / Л.И. Тищенко // Научная школа Т.И. Шамовой: методолого-теоретические и технологические ресурсы развития образовательных систем : сборник статей X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. – М., 2018. – С. 345–349.

7. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/050306_B_3_23082020.pdf.

8. Устинов, В.И. Имитационная игра как средство обучения студентов / В.И. Устинов, Ф.В. Бутусов // Современные информационные технологии : сборник научных статей по материалам 9-й Международной научно-технической конференции. – Бургас, 2023. – С. 279–285.

9. Faisal, N. Business simulation games in higher education: A systematic review of empirical research / N. Faisal, M. Chadhar, A. Goriss-Hunter, A. Stranieri // Human Behavior and Emerging Technologies. – 2022. – Т. 2022. – No. 1. – P. 1–28.

10. Амет-Уста, З.Р. Технология проектного обучения в современном образовательном контексте высшей школы / З.Р. Амет-Уста, Е.Г. Богослова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 7(190). – С. 85–88.

11. Исаева, О.Г. Роль современных методов обучения в формировании профессиональных компетенций и развития личности обучающихся / О.Г. Исаева // Педагогическое мастерство: теория и практика : Электронный сборник, 2025. – С. 98.

12. Лямбурцева, А.В. Опыт реализации «Модели ООН» в рамках мероприятий на региональном уровне / А.В. Лямбурцева // Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы : материалы XXV Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. – Иркутск, 2021. – С. 237–242.

13. Платонова, Е.Д. Достижение целей в области устойчивого развития: ЦУР-4 и роль всемирного движения за образование для всех / Е.Д. Платонова, Л. Цзэнбяо, А.Ю. Платонов // Пространственная экономика: проблемы экономических структур : материалы I Международной научной конференции. – М., 2024. – С. 82–91.

14. Тимофеева, И.В. Основы концепции устойчивого развития : учеб. пособие / И.В. Тимофеева, Е.А. Быковская, А.И. Ермоченко, А.В. Асач. – СПб. : Университет ИТМО, 2026. – 201 с.

References

1. Rezolyutsiya Generalnoj Assamblei Organizatsii Obedinennykh Natsij ot 25 sentyabrya 2015 g. № A/RES/70/1 «Preobrazovanie nashego mira: Povestka dnya v oblasti ustojchivogo razvitiya na period do 2030 goda». – Nyu-Jork : OON, 2015. – 44 s.

2. O natsionalnykh tselyakh razvitiya Rossijskoj Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda : Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii ot 07.05.2024 № 309.

3. Natsionalnij proekt «Molodezh i deti» : Pasport natsionalnogo proekta (utv. v 2025 g.) [Electronic resource]. – Access mode : http://government.ru/rugovclassifier/914/about.

4. Serikov, S.G. Kontseptsiya ustojchivogo razvitiya: teoreticheskij aspekt / S.G. Serikov // Sibirskaya finansovaya shkola. – 2016. – № 4. – S. 36–40.

6. Tishchenko, L.I. Osobennosti realizatsii obrazovaniya dlya ustojchivogo razvitiya / L.I. Tishchenko // Nauchnaya shkola T.I. SHamovoj: metodologo-teoreticheskie i tekhnologicheskie resursy razvitiya obrazovatelnykh sistem : sbornik statej X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii. V 2-kh chastyakh. – M., 2018. – S. 345–349.

7. Federalnij gosudarstvennij obrazovatelnij standart vysshego obrazovaniya (FGOS VO 3++) po napravleniyu podgotovki 05.03.06 «Ekologiya i prirodopolzovanie» [Electronic resource]. – Access mode : https://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/050306_B_3_23082020.pdf.

8. Ustinov, V.I. Imitatsionnaya igra kak sredstvo obucheniya studentov / V.I. Ustinov, F.V. Butusov // Sovremennye informatsionnye tekhnologii : sbornik nauchnykh statej po materialam 9-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii. – Burgas, 2023. – S. 279–285.

9. Faisal, N. Business simulation games in higher education: A systematic review of empirical research / N. Faisal, M. Chadhar, A. Goriss-Hunter, A. Stranieri // Human Behavior and Emerging Technologies. – 2022. – T. 2022. – No. 1. – P. 1–28.

10. Amet-Usta, Z.R. Tekhnologiya proektnogo obucheniya v sovremennom obrazovatelnom kontekste vysshej shkoly / Z.R. Amet-Usta, E.G. Bogoslova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 7(190). – S. 85–88.

11. Isaeva, O.G. Rol sovremennykh metodov obucheniya v formirovanii professionalnykh kompetentsij i razvitiya lichnosti obuchayushchikhsya / O.G. Isaeva // Pedagogicheskoe masterstvo: teoriya i praktika : Elektronnij sbornik, 2025. – S. 98.

12. Lyamburtseva, A.V. Opyt realizatsii «Modeli OON» v ramkakh meropriyatij na regionalnom urovne / A.V. Lyamburtseva // Rossijskaya tsivilizatsiya: istoriya, problemy, perspektivy : materialy XXV Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. – Irkutsk, 2021. – S. 237–242.

13. Platonova, E.D. Dostizhenie tselej v oblasti ustojchivogo razvitiya: TSUR-4 i rol vsemirnogo dvizheniya za obrazovanie dlya vsekh / E.D. Platonova, L. TSzenbyao, A.YU. Platonov // Prostranstvennaya ekonomika: problemy ekonomicheskikh struktur : materialy I Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. – M., 2024. – S. 82–91.

14. Timofeeva, I.V. Osnovy kontseptsii ustojchivogo razvitiya : ucheb. posobie / I.V. Timofeeva, E.A. Bykovskaya, A.I. Ermochenko, A.V. Asach. – SPb. : Universitet ITMO, 2026. – 201 s.

© А.И. Ермоченко, 2026

УДК 378

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ СОВРЕМЕННОГО УЧИТЕЛЯ НАЧАЛЬНЫХ КЛАССОВ

А.Н. ЗАГОРОДНЮК, И.Г. МАРАКУШИНА, Е.Н. СТАРОСТИНА

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск

Ключевые слова и фразы: учитель начальных классов; психолого-педагогический портрет; личностные и профессиональные качества учителя; профессиональная деятельность.

Аннотация: В статье представлен анализ ряда научных подходов и исследований, позволяющих представить целостный портрет современного учителя начальных классов как личности и как отдельной профессиональной группы. Целью исследования является создание целостного психолого-педагогического портрета учителя начальных классов через описание его ключевых личностных и отличительных профессиональных черт. Задачи исследования: представить ключевые характеристики профессиональной деятельности учителя начальных классов; выявить значимые личностные качества в работе с младшими школьниками; сформулировать группы требований к педагогу начального уровня образования. Гипотезой является предположение о том, что портрет современного учителя начальных классов с позиции психолого-педагогического знания характеризуется полифункциональностью, разнообразием ролевых позиций, которые определяются особенностями современных младших школьников, нормативными требованиями системы образования и социальными вызовами, а также отличаются следующими характеристиками: на личностном уровне и уровне классного руководителя – коммуникабельностью, стрессоустойчивостью, ораторским искусством, требовательностью, чувством стиля; на уровне специалиста и профессионала – предметной и методической компетентностью, креативностью. Методы исследования: анализ теоретических источников, структурирование, опрос, обобщение. Достигнутые результаты: сформулированы психолого-педагогические характеристики профессиональной деятельности и личностных качеств учителя начальных классов в соответствии с современными требованиями и нормативными подходами, что дает возможность сформулировать рекомендации для вузов по подготовке специалистов этой профессиональной группы и разработке основных профессиональных образовательных программ этого профиля.

Русский педагог, один из основоположников педагогической терминологической школы, К.Д. Ушинский в своих трудах заострял внимание на личности учителя, на его влиянии при формировании самосознания и понимания окружающей действительности ребенком. В современном мире фигура учителя начальных классов является ключевой в обучении, развитии и воспитании подрастающего поколения детей, обучающихся в начальной школе. Не утихают научные споры о том, стоит ли выделять учителя начальных классов как особую профессию в подготовке учителей в рамках педагогического образования. Актуальным остается вопрос в научном сообществе педагогических вузов о том, стоит ли выделять отдельное направление подготовки для данной категории учителей, так ли много специфики в этой профессии. Профессия учителя начальных классов специфична по отношению к профессии педагога в целом. Многогранность, междисциплинарность и полифункциональность деятельности учителя начального общего образования как предметника и как классного руководителя по-особенному сказывается на составлении портрета этой профессии – делает ее комплексной, обеспечивая целостное восприятие ребенком знаний в один из особенно значимых периодов онтогенеза – в младшем школьном возрасте.

Учительство – это одна из основных групп

интеллигенции в нашей стране, которая формирует духовный и образовательный потенциал общества. В имеющихся исследованиях внимание направлено на личность учителя начальных классов, так как он закладывает тот прочный фундамент, на основе которого ребенок будет проходить этапы развития на протяжении всей жизни, что особенно ярко проявляется в период адаптации ребенка к обучению в школе после перехода из дошкольного возраста. Сегодня возрастные границы младшего школьного возраста существенно сдвинулись, как показывают наши исследования, по отдельным социальным критериям ребенок уже в 10 лет начинает проявлять черты младшего подростка. А по когнитивным критериям часто остается дошкольником не только в первом классе, но и вплоть до 11–12 лет, запаздывая с формированием интеллектуальной рефлексии. В этот сложный в психологическом плане период жизни с ним рядом находится особенный педагог – объединяющий функции классного руководителя и учителя многопредметника. Это позволяет ребенку в глазах педагога опереться на свои сильные стороны и последовательно скомпенсировать отставание в тех или иных образовательных задачах [2].

Таким образом, целесообразно, с точки зрения задач возрастного развития обучающихся, утверждать, что ролевой репертуар учителя начальных классов многогранен и разнообразен. Он – педагог, воспитатель, тьютор, наставник, старший товарищ, мотиватор, фасилитатор, организатор. Это человек, который постоянно находится в методическом и научном поиске, системно занимается повышением своей квалификации.

В педагогической литературе подчеркиваются основные составляющие в работе учителя начальных классов. Остановимся на их краткой характеристике: во-первых, это преподавание одновременно различных циклов учебных предметов – гуманитарного, математического, эстетического, естественного. Это требует активного создания педагогом межпредметных связей, опоры на опыт детей и предъявляет высокие требования к подготовке учителя в предметном плане. Особую роль играет учитель начальных классов и в плане социализации школьников, так именно в этот период родители детей имеют самое сильное влияние на школьную жизнь ребенка. Это требует особой коммуникации учителя начальных классов с родителями и законными представителями детей, ведь этот педагог видит ежедневно детей несколько часов, живет с ними единой школьной жизнью и видит психологический рост детей, а также их трудности в школьной системе координат.

На основании данных наших исследований опишем ряд ключевых черт учителя начальных классов, таких как высокая функциональная грамотность, общая эрудированность, комплекс педагогических и творческих способностей, развитые анализ и речь, а также нравственные качества и эмпатия, позволяющие чувствовать ребенка и понимать динамику его развития [1].

По мнению ученых и исследователей в области данного вопроса (В.Г. Панкратовой, Н.Н. Светловской, *H. Palmer* и др.), учитель начальных классов – это человек, который реализует на практике идеи политики государства по формированию и развитию будущего поколения. Именно учитель начальных классов становится сензитивной личностью для младших школьников, несущей установки и мировоззренческие ценности, воспитывающей гражданина и патриота своей страны. Исследователи особенно подчеркивают коммуникативную направленность профессии учителя начальных классов наряду с эмоциональной устойчивостью, создающими базу для становления компетенций в сфере создания благоприятного климата в детском коллективе и построения оптимальных межличностных отношений, особенно с родителями детей [3; 4; 5]. Н.Н. Светловская отмечает, что учителя начального звена отличает «внимание к людям и интерес к окружающему миру, потому что его цель– подготовить детей к безболезненному вхождению в этот мир – с пользой для мира и удовлетворением для себя» [4]. Все вышесказанное отражается в профессиональном самосознании педагога, в его личностном портрете.

Проведенное нами исследование показало, что сама профессиональная деятельность учителя начальных классов обладает полифункциональностью как отличительной чертой. Он выступает воспитателем для младших школьников, постоянным и включенным в каждую минуту жизни ребенка классным руководителем, а еще выполняет функционал тьютора и фасилитатора. Особенно важны такие функции учителя в начальной школе, как наставника и консультанта в проектировании образовательных сред, что делает его сегодня особенно значимой личностью в социализации детей и построе-

Таблица 1. Группы требований к учителю начальных классов

Группа требований	Значимые качества
Как к личности	Интеллектуальные способности, интуиция и эрудиция, психологическая устойчивость, нравственность, коммуникабельность, ответственность, способность и готовность к применению и использованию новшеств
Как к специалисту	Глубокие и прочные знания в преподаваемых предметных областях, наличие квалификационной категории (первая или высшая), готовность к профессиональной переподготовке и повышению квалификации, а также к профессиональному росту
Как к классному руководителю	Владение технологиями и методиками в области воспитания детей, а также в области организации взаимодействия с родителями / законными представителями своих воспитанников, претворение на практике гуманистических идеалов, духовных и нравственных ценностей
Как к профессионалу	Уверенное владение техническими средствами обучения, в том числе цифровыми, умение применять на практике традиционные и инновационные педагогические подходы, приемы, методы и технологии, направленные на всестороннее развитие младших школьников (критического мышления, формирования функциональной грамотности, способности ориентироваться в информационном пространстве и др.), а также способность эффективно выстраивать работу с субъектами образовательных отношений, коллегами и специалистами иных организаций

нии их образовательных маршрутов. Все это многообразие функций развертывается на фоне реализации учителем многопредметной подготовки, усиливая полифункциональность образа профессии [1].

Перечисленные качества, безусловно, не являются исчерпывающими, но в своем большинстве они определены требованиями профессионального стандарта педагога, в котором особенно выделена данная сфера педагогической деятельности – создание социальной ситуации развития для детей в начальной школе. А также безусловным требованием к изучаемой профессии является динамика нормативных возрастных кризисов в периоды перехода с одной возрастной ступени на другую – за период начальной школы дети из дошкольного возраста переходят в младший школьный, а далее просто «запрыгивают» в подростковый.

Изменения, происходящие в обществе в целом и в образовании в частности, глобальны и многогранны, но значимость профессии учителя начальных классов, по нашему мнению, была и остается высокой, составляя особую значимость для общества и миссию, которая заключается в носителе знаний, в образце профессиональной культуры, в воспитании у младших школьников личностных характеристик, гражданской позиции, патриотизма, нравственности и человеческих ценностей.

Психолого-педагогические характеристики создают основу для представления портрета современного учителя начальных классов. Требования к учителю начальных классов, исходя из собирательного анализа данных, можно представить в виде четырех взаимосвязанных групп, характеризующихся основными значимыми качествами (табл. 1).

Помимо требований к учителю начальных классов, которые мы объединили в четыре основные группы, целесообразно говорить о такой составляющей его психолого-педагогического портрета, как авторитетность. Авторитет, на наш взгляд, складывается из «авторитета роли и предназначения учителя начальных классов» и «авторитета его личности». В глобальном смысле ученые, исследователи, общественные деятели и др. высказываются за повышение престижа профессии учитель и закрепление этого престижа на мировой арене, но, в частности, авторитет педагога зависит и от его индивидуальности, «привлекательных» для учеников и их родителей личностных черт. Неравнодушие, доброта, любовь к детям и к тому, чем занимается учитель, коммуникабельность, отзывчивость, жизнерадостность, активная позиция, смелость и стрессоустойчивость, эмпатийность, уважение к каждому из участников образовательных отношений – основа этого компонента психолого-педагогического портрета учителя начальных классов. Отметим, что в противопоставлении портрет неавторитетного

учителя может быть описан через низкую гибкость, сниженное стремление развиваться, преобладание «жестких» методов в работе, а также в преобладающую монологичность и директивность во взаимодействии с детьми, стереотипизированность, нравственные и эмпатические проблемы и неуважительную коммуникацию с различными участниками образовательных отношений: детьми, родителями, администрацией. Программа эмпирического изучения особенностей личности и профессиональных черт как компонентов портрета учителя начальных классов была реализована на кафедре педагогики и психологии детства ФГАОУ ВО «САФУ имени М.В. Ломоносова». В исследовании приняли участие 42 студента заочной формы обучения, имеющие опыт преподавания в начальной школе, обучающиеся по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), профили «Начальное образование» и «Дополнительное образование». Среди педагогов был проведен опрос, целью которого явилось выявление профессионально значимых качеств профессии учителя начальных классов. К таким качествам педагогами были последовательно отнесены: предметная и методическая компетентность, стрессоустойчивость, коммуникабельность, ораторское искусство, креативность, требовательность, чувство стиля, гуманность, цифровая компетентность.

Подводя итоги данного исследования, считаем, что портрет современного учителя начальных классов с позиции психолого-педагогического знания может иметь следующие отличительные черты: на личностном уровне и уровне классного руководителя – коммуникабельность, стрессоустойчивость, ораторское искусство, требовательность, чувство стиля; на уровне специалиста и профессионала – предметная и методическая компетентность, креативность.

Психолого-педагогический портрет учителя начальных классов как личности, специалиста, профессионала отображает многопредметность, междисциплинарность и полифункциональность данной профессии, что делает ее комплексной, обеспечивая целостное восприятие ребенком собственной жизнедеятельности, а также освоение образовательного пространства и становление ученика как субъекта учебной деятельности.

Литература

1. Загороднюк, А.Н. Особенности формирования компетенции самоанализа педагогической деятельности будущего учителя начальных классов / А.Н. Загороднюк // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2022. – № 12(159). – С. 257–260.

2. Маракушина, И.Г. Проблема границ младшего школьного возраста в психологических исследованиях / И.Г. Маракушина, Н.В. Поляшова // Герценовские чтения. Начальное образование. – 2025. – Т. 16. – № 1. – С. 3–7.

3. Панкратова, В.Г. Профессионально важные качества учителя начальных классов / В.Г. Панкратова // Вестник Ленинградского государственного университета имени А.С. Пушкина. – 2021. – № 2. – С. 41–52.

4. Светловская, Н.Н. Учитель начальных классов: специфика профессии и возможности вуза / Н.Н. Светловская // Начальная школа. – 2017. – № 1. – С. 7–10.

5. Palmer, H. Professional Primary School Teacher Identity Development: A Pursuit in Line with an Unexpressed Image / H. Palmer // Teacher Development. – 2016. – Vol. 5(20). – P. 682–700.

References

1. Zagorodnyuk, A.N. Osobennosti formirovaniya kompetentsii samoanaliza pedagogicheskoj deyatelnosti budushchego uchitelya nachalnykh klassov / A.N. Zagorodnyuk // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2022. – № 12(159). – S. 257–260.

2. Marakushina, I.G. Problema granits mladshego shkolnogo vozrasta v psikhologicheskikh issledovaniyakh / I.G. Marakushina, N.V. Polyashova // Gertsenovskie chteniya. Nachalnoe obrazovanie. – 2025. – T. 16. – № 1. – S. 3–7.

3. Pankratova, V.G. Professionalno vazhnye kachestva uchitelya nachalnykh klassov / V.G. Pankratova // Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta imeni A.S. Pushkina. –

2021. – № 2. – S. 41–52.

4. Svetlovskaya, N.N. Uchitel nachalnykh klassov: spetsifika professii i vozmozhnosti vuza / N.N. Svetlovskaya // Nachalnaya shkola. – 2017. – № 1. – S. 7–10.

© А.Н. Загороднюк, И.Г. Маракушина, Е.Н. Старостина, 2026

УДК 378.147:51

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРЕМЫ ЗАПАЗДЫВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

К.С. МАМАЕВА, А.В. ЩЕГЛОВА, Н.Н. ТРУНОВ

ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: операционное исчисление; теорема запаздывания; математическое моделирование; математический аппарат; физические задачи.

Аннотация: Цель статьи – обосновать эффективность применения теоремы запаздывания операционного исчисления для упрощения анализа динамических систем с временными задержками. В соответствии с поставленной целью решаются задачи рассмотрения ключевых положений теоремы и ее реализации на физических примерах движения тела под действием сил, прекращающихся в заданные моменты времени. Методологическую основу составляют методы теоретического анализа и обобщения результатов инженерных расчетов. Результаты: на основе анализа примеров обоснована целесообразность применения теоремы запаздывания как инструмента, позволяющего снизить трудоемкость расчетов и получать компактное универсальное решение для всего временного диапазона, в отличие от классического подхода, требующего переопределения начальных условий.

Разработанное Оливером Хевисайдом в конце XIX в. операционное исчисление первоначально существовало как набор эффективных, но строго не обоснованных правил. Его практическая ценность заключалась в решении задач, неподъемных для классических методов. В XX в. методы Хевисайда получили фундаментальное обоснование через преобразование Лапласа, что открыло им путь в физику, электротехнику и прикладную математику в качестве мощного расчетного инструмента.

Среди его ключевых инструментов особое место занимает теорема запаздывания. Она играет критически важную роль при анализе процессов, имеющих временной сдвиг (распространение сигналов в линиях связи, задержки в системах управления или релейные режимы работы). В данной статье мы напомним формулировку теоремы и детально рассмотрим ее применение на физических примерах.

Наша цель – наглядно продемонстрировать, как использование этой теоремы позволяет находить изящные, короткие и интуитивно понятные решения инженерных задач, связанных с временными задержками.

Теорема запаздывания

Теорема запаздывания в операционном исчислении утверждает: если функция-оригинал $f(t)$ имеет изображение $F(p)$, то для любого $\tau > 0$ справедливо равенство:

$$L(f(t-\tau)\eta(t-\tau)) = e^{-p\tau}F(p),$$

где $\eta(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$ – функция Хевисайда.

Математический смысл теоремы состоит в том, что запаздывание сигнала на величину τ во временной области эквивалентно умножению его изображения на экспоненциальный множитель $e^{-p\tau}$ в пространстве Лапласа.

Применение теоремы запаздывания позволяет дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом преобразовать в алгебраи-

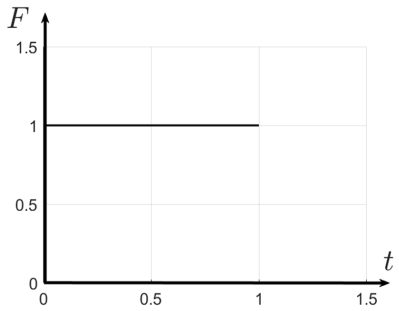


Рис. 1. Зависимость силы от времени

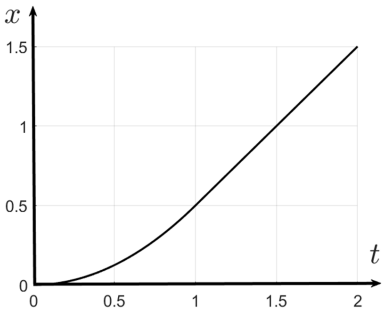


Рис. 2. Зависимость координаты от времени

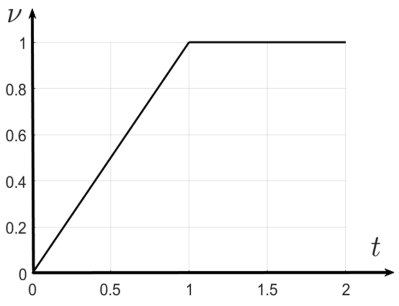


Рис. 3. Зависимость скорости от времени

ческие уравнения в пространстве изображений.

Покажем использование теоремы запаздывания на простых физических примерах.

Пример 1. *Движение тела под действием постоянной силы, ограниченной по времени.*

Рассмотрим движение тела массой $m = 1$ кг, на которое в течение первой секунды действует постоянная сила, равная 1 Н (рис. 1). Найдем зависимость координаты $x(t)$ и скорости $\nu(t)$ от времени, используя второй закон Ньютона:

$$ma = F \Rightarrow \ddot{x} = \begin{cases} 1, & 0 \le t \le 1, \\ 0, & t > 1. \end{cases}$$

Первый способ. *Решение дифференциального уравнения.*

Пусть заданы следующие начальные условия $x(0) = 0,\ v(0) = \dot{x} = 0$. В первую секунду ускорение $a = \ddot{x} = 1,$ уравнение движения с учетом начальных условий: $x(t) = \dfrac{at^2}{2}$ для $0 < t < 1$. К моменту $t = 1$ тело оказалось в точке $x_1 = \dfrac{1}{2}$ и имело скорость $v = at = 1$. Далее действие силы прекращается, и тело движется по инерции $x = x_1 + v\tau,$ где x_1 – координата, которую тело имело в момент времени $\tau = 0$, где τ – отсчет времени с момента прекращения действия силы ($\tau = t - 1$), тогда $x = \dfrac{1}{2} + a\tau = \dfrac{1}{2} + a(t-1),$ т.к. $a = 1$, то, с учетом прекращения действия внешней силы, получаем для всех моментов времени (рис. 2):

$$x(t) = \begin{cases} \dfrac{t^2}{2}, & 0 \le t \le 1, \\ t - \dfrac{1}{2}, & t > 1. \end{cases} \qquad (1)$$

Скорость тела $v = v_0 + at$ в первую секунду линейно растет, далее остается постоянной (рис. 3):

$$v(t) = \begin{cases} t, & 0 \le t \le 1, \\ 1, & t > 1. \end{cases} \qquad (2)$$

Второй способ. *Решение операционным методом.*

Эту же задачу решим операционным методом. 2-й закон Ньютона запишем, используя функцию Хэвисайда (внешняя сила действует только в течение первой секунды):

$$\ddot{x} = \eta(t) - \eta(t-1),$$

применив преобразование Лапласа для уравнения, теорему запаздывания для внешней силы, и учитывая начальные условия $x(0) = 0,$ $v = \dot{x}(0) = 0,$ получим:

$$p^2 X(p) = \frac{1}{p} - \frac{1}{p} e^{-p},$$

где $X(p)$ – изображение искомого оригинала $x(t)$.

Находим: $X(p) = \dfrac{1}{p^3} - \dfrac{1}{p^3} e^{-p}$, ему соответствует оригинал:

$$x(t) = \frac{t^2}{2}\eta(t) - \frac{(t-1)^2}{2}\eta(t-1) =$$

$$= \begin{cases} \dfrac{t^2}{2}, & 0 \le t \le 1, \\ t - \dfrac{1}{2}, & t > 1. \end{cases} \qquad (3)$$

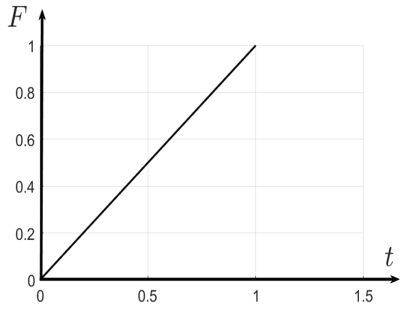


Рис. 4. Зависимость силы от времени

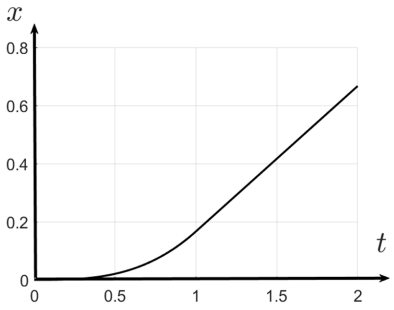


Рис. 5. Зависимость координаты от времени

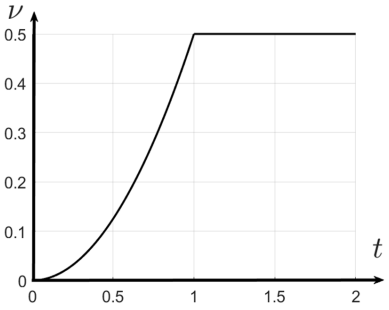


Рис. 6. Зависимость скорости от времени

Так как $\dot{v} = a$, то для скорости движения тела имеем уравнение:

$$\dot{v}(t) = \eta(t) - \eta(t-1),$$

тогда $pV(p) = \frac{1}{p} - \frac{1}{p}e^{-p}$, где $V(p)$ – изображение скорости; соответственно оригинал:

$$v(t) = t\eta(t) - (t-1)\eta(t-1) = \begin{cases} t, & 0 \le t \le 1, \\ 1, & t > 1. \end{cases} \qquad (4)$$

Очевидно, что с помощью теоремы запаздывания получен тот же результат: формулы (1) и (3); (2) и (4) совпадают. Но применение теоремы запаздывания позволило не находить новые начальные условия к моменту прекращения действия силы и не решать задачу вторично.

Пример 2. *Движение тела под действием линейно возрастающей силы, ограниченной по времени.*

Пусть на тело (с массой 1 кг) действует линейно возрастающая сила (рис. 4), а в момент $t = 1$ действие силы прекращается. Требуется найти зависимость координаты $x(t)$ и скорости $\nu(t)$ от времени.

Первый способ. *Решение дифференциального уравнения.*

Интегрируя уравнение движения $\ddot{x} = t$, $0 \le t \le 1$, получаем:

$$\dot{x}(t) = \frac{t^2}{2} + v_0,$$

$$x(t) = \frac{t^3}{6} + v_0 t + x_0,$$

где x_0, v_0 – начальные значения координаты и скорости. Пусть начальные условия $x_0 = 0$, $v_0 = 0$, тогда уравнение движения имеет вид $x = \frac{t^3}{6}$ для $0 < t < 1$. К моменту времени $t = 1$ тело приобретет скорость $v = \frac{1}{2}$ и окажется в точке с координатой $x_1 = \frac{1}{6}$; дальнейшее движение будет проходить по инерции с постоянной скоростью $\nu = \frac{1}{2}$, а уравнение движения будет иметь вид $x = x_1 + \frac{1}{2}\tau$, где τ – отсчет времени, начиная с момента прекращения действия силы ($\tau = t - 1$). И в итоге получаем для $t > 1$:

$$x = x_1 + \frac{1}{2}\tau = \frac{1}{6} + \frac{1}{2}(t-1) = \frac{1}{2}t - \frac{1}{3}.$$

Окончательно для всех моментов времени (рис. 5):

$$x(t) = \begin{cases} \frac{t^3}{6}, & 0 \le t \le 1, \\ \frac{t}{2} - \frac{1}{3}, & t > 1. \end{cases} \qquad (5)$$

Скорость в первую секунду квадратично растет, далее остается постоянной (рис. 6):

$$v(t) = \begin{cases} \frac{t^2}{2}, & 0 \le t \le 1, \\ \frac{1}{2}, & t > 1. \end{cases} \qquad (6)$$

Второй способ. *Решение операционным методом.*

Решим эту же задачу операционным методом. Имеем уравнение движения с начальными

условиями:

$$\ddot{x} = t(\eta(t) - \eta(t-1)), \quad x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = 0$$

или

$$\ddot{x} = t\eta(t) - ((t-1)+1)\eta(t-1).$$

Переходя к изображениям, получим:

$$p^2 X(p) = \frac{1}{p^2} - \left(\frac{1}{p^2} + \frac{1}{p}\right)e^{-p}$$

или

$$X(p) = \frac{1}{p^4} - \left(\frac{1}{p^4} + \frac{1}{p^3}\right)e^{-p}.$$

Восстанавливая оригинал:

$$x(t) = \frac{t^3}{6}\eta(t) - \left(\frac{(t-1)^3}{6} + \frac{(t-1)^2}{2}\right)\eta(t-1),$$

при $t > 0$ получаем:

$$x(t) = \frac{t^3}{6} - \frac{1}{6}(t^3 - 3t^2 + 3t - 1 + 3(t^2 - 2t + 1)) = \\ = \frac{t}{2} - \frac{1}{3},$$

и окончательно:

$$x(t) = \begin{cases} \frac{t^3}{6}, & 0 \le t \le 1, \\ \frac{t}{2} - \frac{1}{3}, & t > 1. \end{cases} \qquad (7)$$

Уравнение для скорости $v(t)$:

$$\dot{v}(t) = t(\eta(t) - \eta(t-1)) = t\eta(t) - ((t-1)+1)\eta(t-1).$$

Переходя к изображениям, имеем:

$$V(p) = \frac{1}{p^3} - \left(\frac{1}{p^3} + \frac{1}{p^2}\right)e^{-p},$$

переходя к оригиналу:

$$v(t) = \frac{t^2}{2}\eta(t) - \left(\frac{(t-1)^2}{2} + (t-1)\right)\eta(t-1),$$

при $t > 1$ получаем:

$$v(t) = \frac{t^2}{2} - \left(\frac{t^2}{2} - t + \frac{1}{2} + t - 1\right) = \frac{1}{2}$$

и окончательно:

$$v(t) = \begin{cases} \frac{t^2}{2}, & 0 \le t \le 1, \\ \frac{1}{2}, & t > 1. \end{cases} \qquad (8)$$

Так же, как и в примере 1, решения, полученные при использовании общей теории дифференциальных уравнений и теоремы запаздывания, идентичны: (5) и (7); (6) и (8).

Заключение

На примерах мы показали, как теорема запаздывания позволяет анализировать поведение систем при скачкообразном изменении внешних факторов. Фундаментальное преимущество метода заключается в возможности получения решения в единой аналитической форме, справедливой для всего временного диапазона исследования. Такой подход принципиально меняет способ расчета: вместо многократного решения задачи с последовательным переопределением начальных условий в моменты «смены» внешних воздействий. Особую практическую значимость данный математический аппарат приобретает в авиационной отрасли, где требования к оперативности расчетов и точности прогнозирования системного поведения исключительно высоки. Инженеры получают эффективный инструмент для моделирования различных режимов работы двигателей при изменяющихся условиях – от крейсерского полета до сложных маневров, что в конечном итоге способствует созданию более надежной авиационной техники.

Поэтому важно показать будущим инженерам, что теорема запаздывания – это рабочий инструмент современного инженера, а не просто теоретический раздел курса математики.

Литература

1. Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. Для втузов. Том 2 / Н.С. Пискунов. – М. : Наука, 2001. – 576 с.
2. Краснов, М.Л. Операционное исчисление. Теория устойчивости. Задачи и примеры с подробными решениями / М.Л. Крайнов, А.И. Киселев, Г.И. Макаренко. – М. : URSS, 2003.
3. Саперштейн, Н.Д. Начала операционного исчисления / Н.Д. Саперштейн, В.Л. Файншмидт; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 1998. – 170 с.

References

1. Piskunov, N.S. Differentsialnoe i integralnoe ischisleniya. Dlya vtuzov. Tom 2 / N.S. Piskunov. – M. : Nauka, 2001. – 576 s.
2. Krasnov, M.L. Operatsionnoe ischislenie. Teoriya ustojchivosti. Zadachi i primery s podrobnymi resheniyami / M.L. Krajnov, A.I. Kiselev, G.I. Makarenko. – M. : URSS, 2003.
3. Sapershtejn, N.D. Nachala operatsionnogo ischisleniya / N.D. Sapershtejn, V.L. Fajnshmidt; Balt. gos. tekhn. un-t. – SPb., 1998. – 170 s.

© К.С. Мамаева, А.В. Щеглова, Н.Н. Трунов, 2026

УДК 378.1

КАРЬЕРНЫЕ ОЖИДАНИЯ И РЕАЛЬНОСТЬ РЫНКА ТРУДА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ И ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

И.Н. ПЕТРОВА, А.В. ПЕТРОВА

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева»;
Приволжский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,
г. Чебоксары

Ключевые слова и фразы: педагогика; воспитание; образование; дидактика; студенты; ценности; коллектив.

Аннотация: Статья посвящена процессу изучения особенностей карьерных ожиданий студентов инженерных и педагогических специальностей и оценивания их соответствия объективным параметрам рынка труда Чувашской Республики. Цель работы – выявить структурные особенности карьерных ожиданий студентов инженерных и педагогических специальностей и оценить их соответствие объективным параметрам рынка труда Чувашской Республики. Задачи: 1) провести психодиагностическое исследование ценностных ориентаций в профессиональной сфере у студентов инженерных и педагогических направлений; 2) проанализировать официальную статистику Центра занятости населения Чувашской Республики за 2023–2025 гг. по показателям спроса, предложения, заработной платы и трудоустройства выпускников; 3) выявить статистически значимые различия в карьерных ожиданиях между исследуемыми группами; 4) рассчитать индекс ценностно-рыночного рассогласования и определить факторы, его определяющие; 5) разработать научно обоснованные рекомендации для вузов, центров карьерного развития и региональных служб занятости. Гипотеза исследования базируется на предположении, что карьерные ожидания студентов инженерных и педагогических специальностей Чувашской Республики структурно дифференцированы и в значительной степени расходятся с объективными параметрами регионального рынка труда. Результаты: авторами впервые в рамках одного исследования проведен сопоставительный анализ ценностно-мотивационных профилей студентов инженерных и педагогических специальностей Чувашской Республики с использованием официальных показателей Центра занятости населения (вакантный портфель, уровень трудоустройства, стартовые зарплаты, территориальное распределение спроса).

В условиях трансформации национальной системы высшего образования и ускоренной цифровизации экономики наблюдается устойчивый тренд на рассогласование между профессиональными ожиданиями выпускников и реальной конъюнктурой регионального рынка труда. По данным Росстата и аналитических платформ трудоустройства, до 40 % молодых специалистов в первые три года после окончания вуза работают не по специальности, а уровень удовлетворенности карьерным стартом в ряде субъектов РФ не превышает 55 %. Чувашская Республика, обладающая диверсифицированной промышленной базой и развитой системой педагогического образования, демонстрирует типичные для средних регионов России диспропорции: дефицит инженерно-технических кадров на фоне структурного избытка выпускников гуманитарных и педагогических направлений в крупных городах, одновремен-

ный рост спроса на учителей в сельской местности и монопрофильных территориях, а также дифференциацию стартовых зарплат, не соответствующую ожиданиям студентов. В этих условиях изучение ценностных ориентаций студентов как основы карьерных ожиданий приобретает не только научно-теоретическое, но и стратегическое управленческое значение.

Проблема профессионального самоопределения и карьерных ожиданий традиционно разрабатывается в рамках психологии труда (Е.А. Климов, Н.С. Пряжников, Т.И. Шавельская), экономики труда (В.С. Автономов, Р.И. Капелюшников) и социологии образования (Ю.А. Левада, М.К. Горшков). Зарубежные исследования (*D.E. Super*, *J.L. Holland*, *R.W. Lent*) акцентируют внимание на динамике профессиональных интересов, теории социального когнитивного выбора карьеры и влиянии самоэффективности на профессиональные траектории. Тем не менее большинство работ носят теоретический характер. Эмпирические исследования, сопоставляющие психодиагностические данные ценностных ориентаций с официальной статистикой занятости на уровне субъекта РФ, остаются фрагментарными. Особенно слабо изучена сравнительная динамика инженерных и педагогических когорт в условиях постиндустриального перехода региональной экономики [1].

Необходимость интеграции психологической диагностики карьерных ожиданий с данными служб занятости обусловлена несколькими факторами: во-первых, традиционные профориентационные модели опираются на устаревшие представления о стабильности профессиональных ниш; во-вторых, региональные рынки труда характеризуются высокой волатильностью, требующей от выпускников адаптивности и реалистичной оценки собственных ожиданий; в-третьих, отсутствие обратной связи между вузами, студентами и службами занятости приводит к накоплению структурной безработицы и неэффективному использованию человеческого капитала [4].

Впервые в рамках одного исследования проведен сопоставительный анализ ценностно-мотивационных профилей студентов инженерных и педагогических специальностей Чувашской Республики с использованием официальных показателей Центра занятости населения (вакантный портфель, уровень трудоустройства, стартовые зарплаты, территориальное распределение спроса). Предложен индекс ценностно-рыночного рассогласования (**ЦРР**), позволяющий количественно оценить степень отклонения ожиданий от объективных параметров рынка [7]. Дополнена теория профессионального выбора концептом «адаптивной карьерной реалистичности», учитывающим региональную специфику и динамику ценностных приоритетов [5].

Ценностные ориентации в профессиональной сфере традиционно классифицируются по следующим доминантам: материальное благополучие, профессиональный рост, стабильность, автономия, социальная значимость, творческая самореализация, условия труда. Их структура не статична: она транформируется под влиянием макроэкономических шоков, демографических сдвигов, информационных потоков и институциональных практик вузов [3].

В исследовании приняли участие 100 студентов 3–4 курсов бакалавриата и специалитета Приволжского института (филиала) МАДИ: 50 человек инженерных направлений (машиностроение, информационные технологии, энергетика, строительство) и 50 человек педагогических специальностей (начальное образование, педагогическое образование, психолого-педагогическое направление, дефектология). Возрастной диапазон: 20–23 года (M = 21,4; SD = 1,1). Гендерное распределение: инженерная группа – 68 % мужчин, 32 % женщин; педагогическая группа – 24 % мужчин, 76 % женщин. Выборка квотная, репрезентативная по направлениям подготовки.

В работе нами был использован адаптированный опросник «Ценностные ориентации в профессиональной сфере» (6 шкал, 5-балльная шкала Лайкерта, α Кронбаха = 0,84).

Авторский блок «Карьерные ожидания» (ожидаемая стартовая зарплата, сроки выхода на руководящую должность, готовность к релокации, оценка востребованности).

Контент-анализ официальных отчетов Центра занятости населения Чувашской Республики (2023–2025 гг.), данных Росстата по ЧР, агрегированной аналитики *hh.ru* и *HeadHunter Analytics*.

Далее нами была проведена статистическая обработка. Данные обработаны в *IBM SPSS Statistics* 28. Применены: описательная статистика, t-критерий Стьюдента для независимых выборок, дисперсионный анализ (*ANOVA*), корреляционный анализ Пирсона, регрессионное

Таблица 1. Средние значения ценностных ориентаций в профессиональной сфере (в баллах, *max* = 5; *n* = 50 в каждой группе)

Ценностная доминанта	Инженеры (*M* ± *SD*)	Педагоги (*M* ± *SD*)	*t* (*df* = 98)	*p*-уровень	*d* (Коэн)
Материальное благополучие	4,28 ± 0,71	3,64 ± 0,83	3,81	< 0,001	0,76
Профессиональный рост	4,41 ± 0,68	3,82 ± 0,79	3,95	< 0,001	0,79
Стабильность	3,24 ± 0,92	4,52 ± 0,61	–4,58	< 0,001	0,92
Социальная значимость	3,18 ± 0,88	4,65 ± 0,54	–4,97	< 0,001	0,99
Автономия	4,08 ± 0,76	3,45 ± 0,81	3,18	0,002	0,64
Условия труда	3,91 ± 0,84	3,96 ± 0,77	–0,29	0,772	0,06

Примечание: различия статистически значимы по всем шкалам, кроме условий труда. Размер эффекта (d) интерпретируется по шкале Коэна: 0,2 – малый, 0,5 – средний, 0,8 – большой

Таблица 2. Сопоставление карьерных ожиданий и рыночных параметров (Чувашская Республика, 2025)

Показатель	Инженеры (ожидание)	Педагоги (ожидание)	Факт (рынок ЧР)	Разрыв
Стартовая зарплата (руб/мес)	68 000	45 000	42 000 / 38 500	+26 000 / +6 500
Срок до первой руководящей позиции	3,2 года	5,5 лет	5,8 / 7,2 лет	–2,6 / –1,7 лет
Готовность к релокации в пределах ЧР	78 %	41 %	64 % вакансий в сельской местности	Дезориентация педагогов
Оценка востребованности (1–5)	4,6	4,2	4,1 / 3,7	Завышена у обеих групп

Примечание: фактические зарплаты – медианные значения по данным Центра занятости ЧР; востребованность – индекс коэффициента спроса/предложения

моделирование. Уровень значимости принят при $p \leq 0{,}05$.

Официальная статистика Центра занятости ЧР публикуется ежеквартально в формате «Мониторинг рынка труда» и «Отчет о деятельности службы занятости». В исследовании использованы агрегированные показатели за 2023–2025 гг., верифицированные через открытые данные Минтруда России и Росстата.

Результаты психодиагностики «Ценностные профили студентов» представлены в табл. 1.

Инженерная группа демонстрирует ярко выраженную инструментально-достиженческую ориентацию: приоритет отдается доходу, карьерной динамике и свободе принятия решений (большие эффекты по шкалам материального благополучия и профессионального роста). Педагогическая группа ориентирована на стабильность и социальную миссию (наибольшие эффекты по шкалам стабильности и социальной значимости). Гендерный фактор в обеих группах не оказал существенного влияния на профиль ценностей ($F(1,96) = 1{,}18$; $p = 0{,}280$), что указывает на доминирование профессиональной социализации над демографическими переменными.

Карьерные ожидания *vs* рыночные индикаторы. В табл. 2 сопоставлены ожидаемые выпускниками параметры с фактическими дан-

Таблица 3. Индекс ЦРР по группам

Группа	Материальный разрыв	Карьерный разрыв	Территориальный разрыв	Итоговый ЦРР (*M*±*SD*)	Уровень рассогласования
Инженеры	0,73	0,67	0,42	0,61 ± 0,14	Высокий
Педагоги	0,39	0,43	0,66	0,49 ± 0,12	Средне-высокий

ными рынка труда Чувашской Республики по состоянию на I квартал 2025 г.

Инженеры завышают стартовый доход на 62 % относительно медианы, педагоги – на 17 %. Ожидания по карьерному росту у инженеров опережают реальную динамику в 1,8 раза, у педагогов – в 1,3 раза. При этом 64 % вакансий в инженерном секторе сосредоточены в Чебоксарской агломерации и промышленных центрах (Алатырь, Канаш), тогда как педагоги массово ориентируются на столичные школы, где наблюдается структурный избыток кандидатов.

Индекс ценностно-рыночного рассогласования (ЦРР). Для количественной оценки диссонанса предложен индекс:

$$\text{ЦРР} = \frac{\sum |V_i - M_i|}{N},$$

где V_i – нормированная ценность ожидания, M_i – нормированный рыночный индикатор, N – число параметров.

Регрессионный анализ (n = 100) показал, что 52 % дисперсии индекса ЦРР объясняется уровнем информированности о рынке труда ($\beta = -0{,}58$; $p < 0{,}001$) и наличием производственной практики у профильного работодателя ($\beta = -0{,}37$; $p = 0{,}008$). Модель в целом значима: $F(2,97) = 26{,}34$; $p < 0{,}001$; $R^2 = 0{,}52$; скорр. $R^2 = 0{,}51$.

Полученные данные подтверждают гипотезу о системном рассогласовании между ценностно-мотивационными профилями студентов и объективной конъюнктурой регионального рынка труда. У инженерной когорты доминирует «достиженческий» тип ожиданий, формируемый под влиянием медианарративов о «высокооплачиваемых *IT*/инженерных профессиях», тогда как реальность Чувашской Республики характеризуется умеренным стартовым фондом оплаты труда, длительным периодом адаптации и зависимостью от инвестиционной активности предприятий. У педагогов, напротив, выражен «стабилизационный» тип, однако территориальная диспропорция (спрос в селах и малых городах и концентрация выпускников в Чебоксарах) создает иллюзию дефицита рабочих мест [5].

Сравнение с данными Центра занятости ЧР выявляет институциональный разрыв: служба фиксирует дефицит инженеров-энергетиков, наладчиков ЧПУ, учителей математики и физики в районах, тогда как выпускники ориентируются на «престижные» офисные или столичные позиции. Это согласуется с выводами Р.И. Капелюшникова о «сигнальной функции диплома», не обеспечивающей автоматического соответствия компетенций и ожиданий [2].

Психологический механизм рассогласования связан с когнитивной доступностью: студенты чаще опираются на успешные кейсы сверстников, медиаобразы и устаревшие представления о зарплатных вилках, игнорируя региональную дифференциацию. При этом отсутствие системной обратной связи от работодателей в образовательный процесс усугубляет информационный вакуум [6].

Методологические ограничения и интерпретация. Следует отметить, что при выборке n = 50 в каждой группе статистическая мощность исследования составляет примерно 0,78–0,85 для обнаружения средних и больших эффектов (при $\alpha = 0{,}05$), что является приемлемым, но не оптимальным уровнем. Доверительные интервалы для средних значений шире, чем при больших выборках, поэтому результаты следует интерпретировать с осторожностью и рассматривать как пилотные данные, требующие репликации. Тем не менее устойчивость эффектов (большие значения d по ключевым шкалам) и согласованность с внешними данными (статистика Центра занятости) повышают надежность выводов.

Сравнение с зарубежными исследованиями показывает, что в условиях развитых служб карьерного консультирования индекс рассогласования снижается на 30–40 % за счет интеграции *labor market intelligence* (***LMI***) в учебные

программы. В Чувашской Республике подобные практики носят фрагментарный характер, что требует институционализации [8].

Проведенное исследование на выборке $n = 100$ позволило установить, что карьерные ожидания студентов инженерных и педагогических специальностей Чувашской Республики структурно дифференцированы и в значительной степени расходятся с объективными параметрами регионального рынка труда. Инженерная когорта демонстрирует завышенные ожидания по материальному вознаграждению и темпам карьерного роста (большой размер эффекта: $d = 0{,}76–0{,}79$), тогда как педагогическая группа ориентируется на стабильность и социальную значимость ($d = 0{,}92–0{,}99$), но игнорирует территориальную диспропорцию спроса. Рассчитанный индекс ценностно-рыночного рассогласования подтвердил высокий уровень диссонанса у инженеров ($0{,}61 \pm 0{,}14$) и средневысокий у педагогов ($0{,}49 \pm 0{,}12$).

Ключевыми факторами рассогласования выступают: недостаточная информированность выпускников о реальной конъюнктуре рынка труда Чувашской Республики, доминирование медианарративов над эмпирическими данными, слабая интеграция служб занятости в образовательный процесс и отсутствие динамических моделей карьерного прогнозирования на уровне вузов.

Ценностные ориентации студентов не являются статичными: они формируются под влиянием профессиональной социализации, информационного поля и институциональных практик вузов, однако требуют коррекции в сторону рыночной реалистичности. Полученные различия статистически значимы ($p < 0{,}01$) и имеют большой размер эффекта, что указывает на устойчивость феномена.

Данные Центра занятости населения Чувашской Республики демонстрируют устойчивый структурный спрос на инженеров технических специальностей и учителей-предметников в районах, который не транслируется в систему профориентации.

Индекс ЦРР может использоваться как диагностический инструмент для мониторинга эффективности карьерного сопровождения и планирования приема в вузы. При выборке $n = 50$ на группу индекс демонстрирует приемлемую надежность ($\alpha = 0{,}76$).

Работа опирается на кросс-секционный дизайн, выборку ограниченного объема ($n = 100$) и данные одного субъекта РФ. Статистическая мощность исследования достаточна для обнаружения средних и больших эффектов, но может быть недостаточной для выявления малых различий. Будущие исследования целесообразно проводить в лонгитюде, с увеличением выборки до 150–200 человек на группу, включением качественных методов (интервью с работодателями, выпускниками 1–3 года стажа) и расширением географии до федеральных округов.

Разработанная методология может быть масштабирована на другие регионы ПФО, интегрирована в цифровые платформы профориентации и использована при разработке региональных программ развития человеческого капитала. Полученные пилотные данные обосновывают необходимость проведения полномасштабного исследования с репрезентативной выборкой.

Литература

1. Образ российской молодежи: мониторинг // Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ). – М., 2025 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/obraz-rossiiskoi-molodezhi-monitoring.

2. Голланд, Дж. Типология профессиональных интересов / Дж. Голланд. – СПб. : Питер, 2020. – 224 с.

3. Гунина, Е.В. Изучение уровня развития нравственных качеств у будущих бакалавров педагогического образования / Е.В. Гунина, М.В. Вишневская, Е.А. Андреева // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2018. – № 3(103) – С. 92–95.

4. Климов, Е.А. Психология профессионального самоопределения / Е.А. Климов. – М. : Академия, 2018. – 304 с.

5. Мониторинг рынка труда Чувашской Республики. I–IV кв. 2023–2025 гг. / Центр занятости населения ЧР. – Чебоксары : Минтруд ЧР, 2025.

6. Методические рекомендации для кураторов и наставников / сост. О.М. Лукичева, И.Н. Петрова. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2019. – 190 с.

7. Петрова, А.В. Психологическое благополучие участников образовательного процесса в условиях поликультурного общества / А.В. Петрова, И.Н. Петрова // Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития : сборник научных трудов. – Чебоксары, 2018. – С. 133–137.

8. Шавельская, Т.И. Карьерные ожидания выпускников вузов: эмпирический анализ / Т.И. Шавельская // Высшее образование в России. – 2024. – № 2. – С. 112–125.

References

1. Obraz rossijskoj molodezhi: monitoring // Vserossijskij tsentr izucheniya obshchestvennogo mneniya (VTSIOM). – M., 2025 [Electronic resource]. – Access mode : https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/obraz-rossiiskoi-molodezhi-monitoring.

2. Golland, Dzh. Tipologiya professionalnykh interesov / Dzh. Golland. – SPb. : Piter, 2020. – 224 s.

3. Gunina, E.V. Izuchenie urovnya razvitiya nravstvennykh kachestv u budushchikh bakalavrov pedagogicheskogo obrazovaniya / E.V. Gunina, M.V. Vishnevskaya, E.A. Andreeva // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2018. – № 3(103) – S. 92–95.

4. Klimov, E.A. Psikhologiya professionalnogo samoopredeleniya / E.A. Klimov. – M. : Akademiya, 2018. – 304 s.

5. Monitoring rynka truda CHuvashskoj Respubliki. I–IV kv. 2023–2025 gg. / TSentr zanyatosti naseleniya CHR. – CHeboksary : Mintrud CHR, 2025.

6. Metodicheskie rekomendatsii dlya kuratorov i nastavnikov / sost. O.M. Lukicheva, I.N. Petrova. – CHeboksary : CHuvash. gos. ped. un-t, 2019. – 190 s.

7. Petrova, A.V. Psikhologicheskoe blagopoluchie uchastnikov obrazovatelnogo protsessa v usloviyakh polikulturnogo obshchestva / A.V. Petrova, I.N. Petrova // Dorozhno-transportnij kompleks: sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya : sbornik nauchnykh trudov. – CHeboksary, 2018. – S. 133–137.

8. SHavelskaya, T.I. Karernye ozhidaniya vypusknikov vuzov: empiricheskij analiz / T.I. SHavelskaya // Vysshee obrazovanie v Rossii. – 2024. – № 2. – S. 112–125.

© И.Н. Петрова, А.В. Петрова, 2026

УДК 377.8

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБУЧЕНИИ ШКОЛЬНИКОВ НА МАТЕРИАЛЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ»

М.В. ПРОНИНА, В.А. ГОЛДАЕВ, Р.А. КЛЕПИКОВ, Л.Н. ТРИКУЛА

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

Ключевые слова и фразы: технологическая готовность; искусственный интеллект; будущие педагоги; обучение школьников; теория обучения; цифровая дидактика; профессиональная подготовка.

Аннотация: Актуальность исследования обусловлена цифровой трансформацией образования и внедрением технологий искусственного интеллекта (**ИИ**) в школьную практику. Цель исследования – теоретическое обоснование, разработка и апробация методики формирования технологической готовности будущих педагогов к использованию ИИ в обучении школьников. Задачи исследования: раскрыть понятие «технологическая готовность к использованию ИИ», определить ее компоненты и показатели, разработать и экспериментально проверить авторскую методику. Гипотеза исследования: формирование технологической готовности к использованию искусственного интеллекта в обучении школьников будет успешным при внедрении практико-ориентированной методики, моделирующей профессиональную деятельность с применением ИИ. Методологическую основу исследования составили теоретический анализ, педагогический эксперимент, тестирование, анкетирование, статистическая обработка данных. В результате исследования раскрыто содержание понятия, определены компоненты готовности, представлена авторская методика формирования технологической готовности будущих педагогов к использованию ИИ. Практическая значимость исследования: материалы могут быть использованы преподавателями педагогических вузов для актуализации содержания дисциплин.

Трансформация целей обучения в современных условиях характеризуется смещением акцента с трансляции готового знания на формирование у обучающихся способности к адаптации в быстро изменяющемся мире и непрерывному самообразованию. В контексте компетентностного подхода приоритетное значение приобретает не столько результат, сколько процессуально-деятельностная составляющая, в рамках которой у обучающегося формируются навыки критического мышления, коммуникации, сотрудничества, социальной и культурной осведомленности [7]. Достижение данных образовательных результатов требует пересмотра традиционных подходов к обучению и применения инновационных средств, среди которых ключевое место занимают технологии искусственного интеллекта (**ИИ**). Цель данного исследования – представить и обосновать методику формирования технологической готовности будущих педагогов к использованию ИИ в обучении школьников в рамках дис-

циплины «Теория обучения и воспитания».

Методологическую базу исследования составили компетентностный (В.А. Болотов, И.А. Зимняя), деятельностный (Л.С. Выготский, А.Н. Леонтьев) и личностно ориентированный (Е.В. Бондаревская, В.В. Сериков) подходы, позволившие определить структуру и содержание технологической готовности будущих педагогов.

Потенциал ИИ в образовании активно изучается как зарубежными, так и отечественными исследователями. Ученые отмечают автоматизацию процессов управления, доступ к большим объемам информации и повышение учебной мотивации, возможность мгновенной обратной связи с подробным обоснованием ответа, повышение мотивации к самостоятельному получению знаний и саморазвитию с помощью ИИ. Зарубежные авторы указывают на повышение персонализации и результативности обучения. Наряду с анализом возможностей исследователи фиксируют риски чрезмерного использования ИИ: предупреждают о барьере для усвоения культурных норм, отмечают возможное снижение способности к самостоятельному решению задач и утрату эмоциональной связи «педагог – ученик», указывают на препятствия для развития человеческих отношений, обращают внимание на когнитивную предвзятость ИИ и этические риски [4].

Проведенный анализ научной литературы свидетельствует о двойственной природе внедрения ИИ: значительный дидактический потенциал сочетается с рисками дегуманизации образования. Ключевой задачей формирования технологической готовности будущих педагогов к использованию ИИ в обучении школьников становится воспитание способности к педагогически целесообразному отбору инструментов ИИ, позволяющему использовать их преимущества, минимизируя риски.

Технологическая готовность будущих педагогов к использованию ИИ в обучении школьников – это интегративное качество личности, включающее положительную мотивацию к применению ИИ-инструментов, систему теоретических знаний о возможностях нейросетей и практические умения по их интеграции в учебный процесс. Показателями-индикаторами выступают: мера осведомленности о возможностях применения ИИ; уровень умений работать с ИИ для решения задач обучения; степень владения методами исследовательского обучения с использованием ИИ; степень освоения способов разработки учебных заданий и ситуаций с использованием ИИ [9].

Эмпирические исследования, проводимые за рубежом, также свидетельствуют о недостаточном уровне сформированности данной готовности [1]. Полученные нами данные в ходе диагностики уровня технологической готовности студентов Педагогического института НИУ «БелГУ» к использованию искусственного интеллекта в обучении школьников полностью коррелируют с общемировыми тенденциями. Результаты констатирующего эксперимента позволили выявить преимущественно средний уровень технологической готовности к использованию искусственного интеллекта в обучении школьников у будущих педагогов ($\bar{x}$ = 2,67, M_0 = 3). У будущих педагогов отсутствует системное понимание дидактического потенциала ИИ и умение педагогически целесообразно интегрировать данные инструменты в образовательный процесс.

Выявленное противоречие между потребностью школы в педагогах, готовых к работе в условиях цифровой трансформации образования, и реальным уровнем подготовки студентов подтверждает необходимость актуализации содержания программы по дисциплине «Теория обучения и воспитания». На основе выявленных рисков несформированности когнитивного и деятельностного компонентов технологической готовности к использованию искусственного интеллекта в обучении школьников нами была разработана методика, включающая теоретический блок и систему практических заданий.

Формирование когнитивного компонента технологической готовности обеспечивалось за счет цикла видеолекций и вебинаров. В структуру видеоматериалов были включены следующие содержательные линии: дидактические возможности ИИ в деятельности педагога; ИИ как инструмент научно-исследовательской работы; обзор программных продуктов на основе ИИ; анализ практических кейсов.

В ходе аудиторной работы особое внимание преподавателем уделялось обсуждению методических условий, обеспечивающих результативность применения инструментов ИИ в обучении школьников, а также анализу потенциальных рисков и ограничений, связанных с использованием ИИ в обучении школьников.

Содержание практических занятий раздела

«Теория обучения» было актуализировано и дополнено заданиями, требующими использования искусственного интеллекта.

В рамках изучения темы «Цели и содержание общего среднего образования» студентам было предложено комплексное задание, направленное на развитие навыков критического анализа и рефлексии по отношению к результатам работы генеративных нейросетей.

На первом этапе обучающимся необходимо было просмотреть видеоматериал по теме электронного обучения, выделить его позитивные и негативные аспекты и вербализовать степень своего согласия с каждым из тезисов.

Далее студентам требовалось составить текстовый пересказ просмотренного материала с помощью инструментов искусственного интеллекта и сопоставить его с собственными выводами. Ключевой задачей выступил сравнительный анализ: оценка полноты ответа, сгенерированного ИИ, и выявление упущений как в собственном анализе студента, так и в тексте нейросети.

Логическим продолжением данной работы стало освоение темы «Современные методы и средства обучения, требования и условия их использования», в рамках которой акцент был смещен с анализа текстовых результатов ИИ на визуальные и аналитические возможности нейросетей.

Студентам было предложено на основе изученного материала сгенерировать классификационные карты методов обучения и схемы взаимосвязей методов и приемов, а также осуществить автоматическое реферирование тематических видеоматериалов.

Как и на предыдущем этапе, обязательным условием являлась последующая критическая оценка полученных продуктов на предмет полноты, достоверности и дидактической целесообразности их использования в учебном процессе.

В рамках изучения темы «Оценивание учебных достижений школьников. Диагностика в профессионально-педагогической деятельности учителя» студентам было предложено комплексное задание по использованию ИИ в контрольно-оценочной деятельности. Обучающимся предстояло выполнить ряд задач, направленных на автоматизацию текущей аттестации с применением нейросетей. Для методического обеспечения студенты получили перечень профильных ИИ-сервисов и рекомендации по составлению промптов. В ходе работы будущие педагоги осуществляли: генерацию вариативных тестовых заданий с учетом заданных параметров; моделирование автоматизированной проверки и анализа ошибок; оценку диагностической состоятельности материалов, созданных ИИ. Ключевым компонентом занятия выступило осмысление границ применимости ИИ: нейросети позиционировались как вспомогательный инструмент, оптимизирующий рутинные процедуры, но не подменяющий профессиональную интерпретацию результатов и итоговое педагогическое решение учителя.

Проведенное исследование подтверждает, что формирование технологической готовности будущих педагогов к использованию ИИ требует целенаправленной и системной работы в рамках психолого-педагогических дисциплин.

Разработанная и апробированная нами методика, включающая теоретический блок и систему практических заданий, интегрированных в содержание раздела «Теория обучения», позволяет поэтапно формировать все компоненты данной готовности.

Перспективы дальнейшего исследования связаны с распространением данной методики на раздел «Теория воспитания» и разработкой диагностического инструментария для оценки уровня сформированности технологической готовности на различных этапах профессиональной подготовки.

Литература

1. Abujaber, D. The Artificial Intelligence Literacy (AIL) Scale for Teachers: A Tool for Enhancing AI Education / D. Abujaber, I. Adeinat, S. Al-Imamy // Journal of Digital Learning in Teacher Education. – 2025. – Vol. 41. – No. 1. – P. 37–56 [Electronic resource]. – Access mode : https://eric.ed.gov/?id=EJ1470880.

2. Бермус, А.Г. Преимущества и риски использования ChatGPT в системе высшего образования: теоретический обзор / А.Г. Бермус // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2024. – № 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-i-riski-ispolzovaniya-chatgpt-v-sisteme-vysshego-obrazovaniya-teoreticheskiy-obzor.

3. Голдаев, В.А. Интеграция искусственного интеллекта в профессиональную подготовку студентов педагогических специальностей / В.А. Голдаев, Р.А. Клепиков, М.В. Пронина, М.С. Жерлицына // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 5(188). – С. 193–196.

4. Макотрова, Г.В. Искусственный интеллект в обучении: к чему готовить будущего педагога / Г.В. Макотрова, М.В. Пронина // Взаимодействие общеобразовательной школы и педагогического вуза: проблемы воспитания и обучающихся в современных условиях : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного учителя России, почетного профессора Белгородского государственного университета Евгения Викторовича Тонкого. – Белгород : Изд-во БелГУ, 2023. – 148 с.

5. Сибирякова, Ю.В. Использование технологий искусственного интеллекта в сфере образования: риски и перспективные направления / Ю.В. Сибирякова // Экспертные институты в XXI веке: принципы, технологии, культура : сборник научных трудов ; Иркутский государственный университет. – 2022. – С. 211–214.

6. Синогина, Е.С. Потенциал и риски использования технологий искусственного интеллекта в школьной практике / Е.С. Синогина, А.А. Затомская // Cifra. Педагогика. – 2025. – № 1(7). – С. 20–25.

7. Чернавин, Ю.А. Единство традиции и новации как фактор устойчивого развития цифрового общества / Ю.А. Чернавин // Цифровая социология. – 2023. – Т. 6. – № 1. – С. 21–28.

References

2. Bermus, A.G. Preimushchestva i riski ispolzovaniya ChatGPT v sisteme vysshego obrazovaniya: teoreticheskij obzor / A.G. Bermus // Pedagogika. Voprosy teorii i praktiki. – 2024. – № 8 [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-i-riski-ispolzovaniya-chatgpt-v-sisteme-vysshego-obrazovaniya-teoreticheskiy-obzor.

3. Goldaev, V.A. Integratsiya iskusstvennogo intellekta v professionalnuyu podgotovku studentov pedagogicheskikh spetsialnostej / V.A. Goldaev, R.A. Klepikov, M.V. Pronina, M.S. ZHerlitsyna // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 5(188). – S. 193–196.

4. Makotrova, G.V. Iskusstvennij intellekt v obuchenii: k chemu gotovit budushchego pedagoga / G.V. Makotrova, M.V. Pronina // Vzaimodejstvie obshcheobrazovatelnoj shkoly i pedagogicheskogo vuza: problemy vospitaniya i obuchayushchikhsya v sovremennykh usloviyakh : Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, posvyashchennoj 90-letiyu so dnya rozhdeniya zasluzhennogo uchitelya Rossii, pochetnogo professora Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta Evgeniya Viktorovicha Tonkogo. – Belgorod : Izd-vo BelGU, 2023. – 148 s.

5. Sibiryakova, YU.V. Ispolzovanie tekhnologij iskusstvennogo intellekta v sfere obrazovaniya: riski i perspektivnye napravleniya / YU.V. Sibiryakova // Ekspertnye instituty v XXI veke: printsipy, tekhnologii, kultura : sbornik nauchnykh trudov ; Irkutskij gosudarstvennij universitet. – 2022. – S. 211–214.

6. Sinogina, E.S. Potentsial i riski ispolzovaniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v shkolnoj praktike / E.S. Sinogina, A.A. Zatomskaya // Cifra. Pedagogika. – 2025. – № 1(7). – S. 20–25.

7. CHernavin, YU.A. Edinstvo traditsii i novatsii kak faktor ustojchivogo razvitiya tsifrovogo obshchestva / YU.A. CHernavin // TSifrovaya sotsiologiya. – 2023. – T. 6. – № 1. – S. 21–28.

© М.В. Пронина, В.А. Голдаев, Р.А. Клепиков, Л.Н. Трикула, 2026

УДК 378; 801

ПОЛИЛИНГВАЛЬНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА ВУЗА: ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Л.Х. САТАРОВА, Г.Ф. МУСИНА

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

Ключевые слова и фразы: мультилингвальное образование; учебно-методическое пособие; культура; многоязычие; международное образовательное пространство; индивидуальные потребности.

Аннотация: В статье рассматривается одно из важнейших направлений в обучении иностранным языкам – «полилингвальное обучение». Актуальность данного исследования определяется не только необходимостью изучения иностранных языков, но и знакомством с культурой и традициями данных народов, знакомством с литературой и созданием продуктивных видов учебной деятельности для внедрения в учебный процесс инновационных программ по полилингвальному обучению.

Также актуальность данного исследования заключается в необходимости поиска и создания продуктивных видов учебной деятельности для внедрения в учебный процесс инновационных программ по полилингвальному обучению. В данной статье рассматривается опыт работы преподавателей Казанского (Приволжского) федерального университета, кафедры теории и практики перевода и их учебно-методические разработки для обучения студентов по направлению «Лингвистика» (профиль: Перевод и переводоведение (иностранный и второй иностранный языки)).

Гипотеза исследования основывается на предположении о том, что успешность процесса обучения студентов вуза в полилингвальной образовательной среде имеет характерные особенности, которые отражаются в социальном, культурном, межнациональном, психолого-педагогическом форматах. Данное обоснование отражает педагогические проблемы, которые должны определить процесс обучения студентов в полилингвальной образовательной среде вуза.

В работе кафедры отмечены следующие задачи по сохранению языкового и культурного разнообразия:

– подготовка будущих специалистов в рамках полилингвальной образовательной среды;
– развитие межкультурных связей в профессиональной сфере;
– расширение и углубление партнерских и дружеских отношений;
– разработка и внедрение учебно-методических пособий, цифровых образовательных ресурсов (**ЦОР**), предназначенных для изучения языков и культур.

Для решения поставленных задач были использованы следующие методы: тестирование, анкетирование, педагогические наблюдения, собеседования. Данные методы способствовали повышению мотивации участников к изучению второго и третьего иностранных языков (по выбору).

Целью исследования является разработка учебных пособий и обработка анкетных данных по выявлению трудностей полилингвального обучения в вузе. В анкету вошли вопросы и ответы, которые имеют наибольшее значение для разработки учебно-методических пособий и формированию программ по полилингвальному обучению.

Как показывает данное исследование, студенты имеют большую мотивацию в изучении 3-го иностранного языка, поскольку они продолжают изучать первый ИЯ и второй ИЯ вариативно и совершенствуют свои навыки и умения в языковом пространстве для дальнейшей профессиональной деятельности.

Проведенное авторами исследование имеет практическую значимость и помогает преподавателям выстроить траекторию обучения полилингвального образования как группы, курса, так и отдельного студента

Развитие социально-экономических отношений между странами побуждает участников коммуникации к организации эффективного межкультурного взаимодействия на иностранных языках.

География распространения английского языка обширна, он зарекомендовал себя как язык международного общения, однако наряду с рассматриваемой тенденцией наблюдается общемировой процесс самоопределения обществ, приводящий к увеличению значимости языков территориальных образований. В связи с этим возникает потребность в специалистах, способных наиболее эффективно организовать процесс обучения нескольким иностранным языкам [5].

Одно из главных направлений интеллектуального развития современного общества лежит сегодня на пути создания в той или иной стране благоприятных условий как для изучения иностранных языков, так и для стимулирования межкультурного общения [3].

Таким образом, нами были проведены исследования для выявления потребности в межкультурном и языковом развитии студентов.

Практическая значимость данного исследования заключается в разработке учебно-методических пособий, разговорников, упражнений, цифровых образовательных ресурсов, тренингов для мультилингвального обучения с учетом специфики обучения иностранным языкам на конкретном этапе в вузе.

В данной статье рассматривается опыт работы преподавателей К(П)ФУ, Кафедры теории и практики перевода и их учебно-методические разработки для обучения студентов по направлению «Лингвистика» (профиль: Перевод и переводоведение (иностранный и второй иностранный языки)).

Для решения поставленных задач были проведены тестирования, анкетирования, педагогические наблюдения, собеседования, что способствовало повышению мотивации участников исследования к изучению второго и третьего иностранных языков (по выбору).

Разработка анкеты по выявлению трудностей с изучением 3-го ИЯ осуществлялась следующим образом: был сформулирован ряд вопросов, определяющих проблемы полилингвального общения. Анкета для студентов была предоставлена в распечатанном виде.

Обработка результатов анкетных данных по «мультилингвальному обучению» позволяет сделать следующие выводы.

1. *Трудности иноязычного общения.*

«Языковой барьер» набрал наибольшее количество респондентов. Далее студенты отметили, что логический барьер появляется, когда речь говорящего слишком сложна для восприятия: грамматические конструкции, тематическое наполнение, а также собеседник может волноваться и быть невнимательным. Для устранения данных сложностей в обучении необходимо следовать рекомендациям преподавателя, а также пошаговой разработке программных и языковых упражнений.

2. *Мотивация в изучении иностранных языков и культур.*

Больше всего студенты хотели бы совершенствовать свои навыки иноязычной речи для дальнейшей работы (как внутри страны, так и за ее пределами). Меньше всего студентов ответили на вопрос «мне это совсем не интересно». Формирование учебного материала должно проводиться с помощью профессиональных компетенций учащихся и их языковых потребностей.

3. *Среда общения.*

Большинство студентов отдают предпочтение виртуальному общению: социальные сети, блоги, видеофорумы, так они могут быть на связи в любое условное время и место. В меньшей степени студенты проявляют интерес к разговорным клубам, встречам, так как не всегда есть время вне учебных занятий. Студенты имеют возможность и право выбора как виртуального, так и живого общения.

4. *Международное общение.*

Большинство студентов отметили, что хотели бы говорить на немецком языке, для того чтобы создать дружескую атмосферу и проверить свои знания и умения. Немного меньше студентов заговорили бы на английском языке. В ходе обучения в вузе студенты преодолевают как языковые, так и психологические барьеры, и готовы к межкультурному и межъязыковому

общению.

5. *Профессиональные компетенции.*

Абсолютное большинство студентов владеет профессиональными компетенциями переводчика, так как проходят производственную практику по выбранному курсу. Студенты имеют право выбора курса (дисциплины) и прохождения языковой практики на предприятиях.

Все вышеизложенные материалы исследования обсуждались на заседаниях кафедры, на международных, научно-практических конференциях, круглых столах. Проводились открытые занятия со студентами различных курсов и факультетов КФУ, применяя на практике разработанные учебно-методические пособия, предназначенные для изучения и совершенствования навыков различных аспектов иностранных языков и культур.

Наше исследование показало, что определяющим фактором в общении студентов является интерес к изучению иностранных языков и культур, а также к расширению кругозора и познанию мира духовного и нравственного.

В заключение хотелось бы отметить, что полилингвальная среда вуза представляет собой сложный образовательный процесс, в который включены как преподаватели, так и студенты разных языковых и культурных групп. Успешность общения межкультурной и межъязыковой коммуникации зависит от каждого из нас: это открытость к познанию чужой культуры, этические нормы поведения, психологический настрой, преодоление стереотипов, языковой барьер. Все это способствует динамичному развитию языковых и культурных контактов как в стенах вуза, так и за его пределами.

Литература

1. Бабушкина, Л.Е. Педагогические условия эффективного формирования профессиональной полилингвальной личности студентов неязыковых специальностей при интегрированном обучении российских и иностранных студентов профессиональному иностранному языку / Л.Е. Бабушкина, Е.А. Юрина // Педагогика. Вопросы теории и практики. – Тамбов : Грамота, 2023. – С. 1062–1068.

2. Бадмаева, Е.С. Метод анализа потребностей обучаемых при изучении иностранного языка в вузе / Е.С. Бадмаева, М.В. Семенова // Мир науки. – 2017. – Т. 5. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://mir-nauki.com/PDF/71PDMN217.pdf.

3. Бушуева, Е.В. Использование элементов полилингвального подхода в процессе обучения испанскому языку как второму иностранному / Е.В. Бушуева // Гуманитарный научный вестник. – 2021. – Т. 12. – С. 202–206.

4. Камалеева, А.Р. Педагогика высшей школы: педагогическое образование / А.Р. Камалеева, Н.В. Гризодуб ; Ин-т педагогики, психологии и социальных проблем, Донецкий национальный университет. – Казань, 2023. – 230 с.

5. Кораблева, Е.Д. Методика формирования полилингвальной компетенции будущего учителя иностранных языков : дис. … канд. пед. наук / Е.Д. Кораблева. – Нижний Новгород, 2023. – 223 с.

6. Сатарова, Л.Х. Межкультурные коммуникации в современной библиотечно-информационной среде : дис. … канд. пед. наук / Л.Х. Сатарова. – Казань, 2015. – 196 с.

7. Туктамышов, Н.К. О концепции языкового регулирования в полилингвальном образовательном пространстве РТ / Н.К. Туктамышов, Л.Л. Салехова // Известия КГАСУ. – Казань, 2011. – № 4(18). – С. 361–366.

8. Ханипова, Р.Р. Поликультурное образование в США: теория и практика / Р.Р. Ханипова // Казанский лингвистический журнал. – Казань. – 2020. – № 4(3). – С. 433–444.

References

1. Babushkina, L.E. Pedagogicheskie usloviya effektivnogo formirovaniya professionalnoj polilingvalnoj lichnosti studentov neyazykovykh spetsialnostej pri integrirovannom obuchenii rossijskikh i inostrannykh studentov professionalnomu inostrannomu yazyku / L.E. Babushkina, E.A. YUrina // Pedagogika. Voprosy teorii i praktiki. – Tambov : Gramota, 2023. – S. 1062–1068.

2. Badmaeva, E.S. Metod analiza potrebnostej obuchaemykh pri izuchenii inostrannogo yazyka v vuze / E.S. Badmaeva, M.V. Semenova // Mir nauki. – 2017. – T. 5. – № 2 [Electronic resource]. –

Access mode : http://mir-nauki.com/PDF/71PDMN217.pdf.

3. Bushueva, E.V. Ispolzovanie elementov polilingvalnogo podkhoda v protsesse obucheniya ispanskomu yazyku kak vtoromu inostrannomu / E.V. Bushueva // Gumanitarnij nauchnij vestnik. – 2021. – T. 12. – S. 202–206.

4. Kamaleeva, A.R. Pedagogika vysshej shkoly: pedagogicheskoe obrazovanie / A.R. Kamaleeva, N.V. Grizodub ; In-t pedagogiki, psikhologii i sotsialnykh problem, Donetskij natsionalnij universitet. – Kazan, 2023. – 230 s.

5. Korableva, E.D. Metodika formirovaniya polilingvalnoj kompetentsii budushchego uchitelya inostrannykh yazykov : dis. … kand. ped. nauk / E.D. Korableva. – Nizhnij Novgorod, 2023. – 223 s.

6. Satarova, L.KH. Mezhkulturnye kommunikatsii v sovremennoj bibliotechno-informatsionnoj srede : dis. … kand. ped. nauk / L.KH. Satarova. – Kazan, 2015. – 196 s.

7. Tuktamyshov, N.K. O kontseptsii yazykovogo regulirovaniya v polilingvalnom obrazovatelnom prostranstve RT / N.K. Tuktamyshov, L.L. Salekhova // Izvestiya KGASU. – Kazan, 2011. – № 4(18). – S. 361–366.

8. KHanipova, R.R. Polikulturnoe obrazovanie v SSHA: teoriya i praktika / R.R. KHanipova // Kazanskij lingvisticheskij zhurnal. – Kazan. – 2020. – № 4(3). – S. 433–444.

© Л.Х. Сатарова, Г.Ф. Мусина, 2026

УДК 796.011.3:613.86

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДАПТИРОВАННОЙ ПРОГРАММЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ГИМНАСТИКИ В ПРОФИЛАКТИКЕ ГИПОДИНАМИИ ОФИСНЫХ РАБОТНИКОВ

М.И. СЕВЕРЬЯНОВА, С.В. АРГУНОВА

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск

Ключевые слова и фразы: гиподинамия; офисные работники; производственная гимнастика; здоровье; работоспособность; профилактика; физическая культура; профессиональное утомление.

Аннотация: В статье представлены результаты комплексного педагогического исследования, посвященного разработке и экспериментальному обоснованию адаптированной программы производственной гимнастики как ключевого средства профилактики гиподинамии у сотрудников офисного сектора. Актуальность работы обусловлена стремительной цифровизацией трудовой деятельности в Российской Федерации, ведущей к росту профессиональных заболеваний, связанных с малоподвижным образом жизни. Цель исследования заключалась в теоретическом обосновании и практической проверке эффективности педагогической технологии внедрения физкультурно-оздоровительных мероприятий непосредственно в рабочий процесс. В ходе работы был проведен педагогический эксперимент с участием 20 офисных сотрудников, разделенных на экспериментальную и контрольную группы. Методологическую основу составили методы вариационной статистики, педагогического тестирования и физиологического мониторинга. Результаты продемонстрировали достоверное улучшение функционального состояния участников экспериментальной группы: снижение болевого синдрома в шейно-плечевом отделе на 57,1 %, повышение гибкости позвоночника на 86,5 %, нормализация вегетативного баланса по индексу Кердо. Особое внимание уделено организационно-педагогическим условиям, обеспечивающим высокую приверженность программе (89,3 %), включая цифровое сопровождение и административную поддержку.

В работе доказано, что систематическое выполнение адаптированных комплексов производственной гимнастики является эффективным средством сохранения здоровья человеческого капитала в современных условиях.

Современный этап социально-экономического развития Российской Федерации характеризуется фундаментальной трансформацией структуры занятости населения. Переход к постиндустриальной экономике, усиленный процессами цифровизации и автоматизации производственных процессов, привел к кардинальному изменению характера трудовой деятельности. По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) за 2024 г., более 60 % экономически активного населения страны занято в сферах, предполагающих преимущественно сидячий тип труда [1]. Наибольшую долю в этой категории составляют офисные работники, сотрудники информационных технологий, финансового сектора и управления. Подобная тенденция, безусловно, отражает прогресс научно-технического развития, однако она несет в себе серьезные риски для общественного здоровья.

Офисные работники подвержены высокому профессиональному риску гиподинамии. Под гиподинамией в данном контексте понимается патологическое снижение двигательной активности, приводящее к нарушению функционального состояния опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой и нервной систем. Согласно данным мониторинга санитарно-эпидемио-

логического благополучия, 89,3 % сотрудников сферы информационных технологий, финансов и управления проводят за рабочим столом более 7 часов в день без регулярных перерывов для двигательной активности [2]. При этом лишь 12,7 % предприятий организуют систематические физкультурные паузы, что создает существенный разрыв между потребностью в профилактике и реальным обеспечением условий для здоровья.

В условиях цифровизации труда традиционные формы физкультурно-оздоровительной работы теряют свою эффективность. Стандартные фитнес-программы часто не соответствуют специфике профессиональных нагрузок офисных работников. Для офисных работников характерно статическое напряжение мышц шейно-плечевого пояса, нарушение осанки, зрительное утомление и психоэмоциональное перенапряжение. Это требует разработки новых педагогических решений, интегрированных непосредственно в производственный процесс.

Оздоровительная физическая культура представляет собой целостную педагогическую систему, направленную на сохранение, укрепление и восстановление здоровья населения [3]. В структуре оздоровительной физической культуры выделяют следующие основные направления: утренняя гигиеническая гимнастика, лечебная физическая культура, физические рекреации, фитнес-тренинг и производственная гимнастика.

Особое место занимает производственная гимнастика как форма оздоровительной физической культуры, непосредственно интегрированная в производственный процесс. Ее уникальность заключается в двойной функциональной направленности: оздоровительной и экономической. Производственная гимнастика представляет собой целенаправленную систему физических упражнений, выполняемых в режиме рабочего дня. Ее основная задача – повышение профессиональной работоспособности, восстановление ее в процессе труда и снижение утомления.

Современная классификация производственной гимнастики основывается на времени проведения, продолжительности занятий и решаемых задачах. Выделяют вводную гимнастику (5–10 минут до смены), физкультурную паузу (10–15 минут в середине смены), физкультурную минутку (2–4 минуты в течение дня) и заключительную гимнастику (5–7 минут после смены).

В контексте профессиональной деятельности офисных работников гиподинамия приобретает специфические черты «технологической гипокинезии». Физиологические нарушения развиваются по каскадному принципу. Наиболее ранние изменения наблюдаются в опорно-двигательном аппарате: снижение активности глубоких стабилизаторов позвоночника приводит к формированию патологических паттернов осанки. Сердечно-сосудистая система реагирует снижением венозного возврата, что провоцирует застойные явления. Нервная система реагирует снижением возбудимости и скорости метаболизма.

Современная парадигма адаптации физкультурно-оздоровительных программ основывается на принципе «точной физической культуры», предполагающем индивидуализацию средств и методов с учетом специфики профессиональной деятельности [4]. Ключевым методологическим основанием является концепция «профессионально-обусловленного двигательного дефицита» (**ПОДД**) [5]. Для офисных работников выделены четыре основных типа ПОДД, требующих компенсации через специализированные упражнения.

Актуальность исследования обусловлена наличием серьезного противоречия между растущей распространенностью гиподинамии среди офисных работников и недостаточной разработанностью педагогических технологий профилактики данного феномена. Производственная гимнастика, имеющая богатые исторические традиции в отечественной системе физического воспитания, в современных условиях нуждается в существенной адаптации.

Цель исследования заключается в теоретическом обосновании и экспериментальной проверке эффективности адаптированной программы производственной гимнастики как средства профилактики гиподинамии у офисных работников.

Гипотеза исследования заключается в том, что систематическое выполнение адаптированной программы производственной гимнастики, которая дифференцирована по зонам профессионального напряжения (шейно-плечевой пояс, кисти рук, зрительный аппарат, поясничный отдел) и интегрирована непосредственно в рабочий процесс посредством микросессий (3–5 мин) и коротких комплексов, при условии организационно-педагогической поддержки

(цифровое сопровождение, административный ресурс) приведет к достоверному улучшению функционального состояния офисных работников (снижение болевого синдрома, повышение гибкости, нормализация вегетативного баланса) и станет эффективным средством профилактики гиподинамии и профессионального утомления.

Эксперимент проводился в три этапа: подготовительный (октябрь 2025 г.), основной (ноябрь 2025 г. – январь 2026 г.) и заключительный (февраль 2026 г.).

В эксперименте приняли участие 20 офисных сотрудников Управления студенческим развитием СВФУ им. М.К. Аммосова в возрасте 22–45 лет. Участники были распределены на экспериментальную (**ЭГ**, $n = 10$) и контрольную (**КГ**, $n = 10$) группы. Критерии отбора включали стаж работы за компьютером не менее 3 лет, сидячий характер труда, отсутствие регулярных занятий физической культурой. Критериями исключения являлись хронические заболевания в стадии обострения.

Диагностический комплекс содержал тестирование физической подготовленности (сила, гибкость, выносливость), оценку состояния опорно-двигательного аппарата (шкала Визеля), диагностику уровня утомления (СОУ, индекс Кердо) и антропометрические измерения. Применялись критерии Манна – Уитни и Вилкоксона. Достоверность различий принималась при $p < 0,05$.

Сравнительный анализ данных выявил достоверные улучшения в экспериментальной группе. Интенсивность болевого синдрома в шейно-плечевом отделе снизилась на 57,1 % (с 4,2±1,3 до 1,8±0,9 балла; $p < 0,001$). В контрольной группе изменений не произошло. Поясничный дискомфорт уменьшился на 60,5 % (с 3,8±1,1 до 1,5±0,8 балла; $p < 0,001$).

Показатели гибкости позвоночника улучшились на 86,5 %: средний результат наклона вперед увеличился с 5,2±3,8 см до 9,7±2,9 см ($p < 0,001$). Доля участников с признаками «офисной осанки» снизилась в ЭГ с 42,5 % до 18,3 %. Силовая выносливость мышц плечевого пояса повысилась на 52,0 %. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы характеризовалось ускорением восстановления ЧСС на 36,8 % и снижением ЧСС в покое на 12,1 %.

Субъективная оценка утомления снизилась в экспериментальной группе на 47,3 % (с 7,4±1,2 до 3,9±1,1 балла). Индекс Кердо нормализовался в ЭГ (с +14,2±3,1 до +6,8±2,4), что указывает на восстановление вегетативного баланса. В контрольной группе индекс остался в зоне симпатикотонии.

Корреляционный анализ выявил взаимосвязь между регулярностью выполнения программы и динамикой показателей. Регулярность занятий является доминирующим фактором успеха, объясняя 46,2 % дисперсии результатов. Интегральный показатель здоровья (**ИПЗ**) в ЭГ увеличился на 56,9 % (с 48,7 до 76,4 баллов), тогда как в КГ прирост составил лишь 5,3 %.

Анализ результатов позволяет сделать вывод о высокой эффективности разработанной программы. Снижение болевого синдрома на 57–60 % превышает показатели традиционных методик. Ключевым фактором эффективности является регулярность выполнения упражнений.

Высокая приверженность (89,3 %) достигнута за счет комбинации организационных мер и цифровых инструментов. Однако отмечено наличие барьеров на начальном этапе, преодоление которых требовало личного участия руководителей («лидерство по здоровью»). Возраст и стаж работы оказали отрицательное влияние на динамику, что указывает на необходимость индивидуализации программ для сотрудников старше 45 лет.

Средняя продолжительность занятия составила 13,2±1,4 минуты, ЧСС достигала 118±12 уд/мин, что соответствует зоне умеренной интенсивности.

Таким образом, проведенное исследование позволило комплексно оценить состояние проблемы профилактики гиподинамии и обосновать эффективность адаптированной программы.

Теоретический анализ выявил, что современная офисная гиподинамия представляет собой «технологическую гипокинезию» с каскадным патогенезом. Установлено, что ключевой причиной низкой эффективности существующих программ является отсутствие дифференцированного подхода.

Разработанная адаптированная программа включает структурированный комплекс упражнений, организационно-технологическую модель и мотивационный механизм. Реализация решений демонстрирует высокую эффективность. Социальный эффект подтверждается улучшениями показателей здоровья: снижение болевого синдрома на 57–60 %, повышение

гибкости на 86,5 %, снижение утомления на 47,3 %. Экономическая эффективность обусловлена снижением потерь предприятия: прогнозируется снижение дней нетрудоспособности на 22 % и рост производительности на 8–12 %.

Результаты создают основу для масштабирования программы. Перспективными направлениями являются цифровизация мониторинга, индивидуализация для возрастных групп и нормативное закрепление методических рекомендаций. Таким образом, цель исследования достигнута. Разработанная программа является эффективным педагогическим средством профилактики гиподинамии.

Литература

1. Здоровье населения и деятельность учреждений здравоохранения в 2024 году: статистический сборник / Росстат. – М., 2025. – 328 с.
2. Отчет о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году / Роспотребнадзор. – М., 2025. – 412 с.
3. Бондин, В.И. Теоретические основы оздоровительной физической культуры : монография / В.И. Бондин. – М. : Советский спорт, 2023. – 284 с.
4. Васильева, Д.К. Интегративные подходы к организации производственной гимнастики в условиях цифровой экономики / Д.К. Васильева // Физическая культура и спорт: теория и практика. – 2024. – Т. 9. – № 2. – С. 103–112.
5. Петров, Д.С. Профессионально-обусловленный двигательный дефицит как основа дифференциации физкультурных программ / Д.С. Петров, Н.И. Логинова // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2023. – № 12(206). – С. 145–153.

References

1. Zdorove naseleniya i deyatelnost uchrezhdenij zdravookhraneniya v 2024 godu: statisticheskij sbornik / Rosstat. – M., 2025. – 328 s.
2. Otchet o sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossijskoj Federatsii v 2024 godu / Rospotrebnadzor. – M., 2025. – 412 s.
3. Bondin, V.I. Teoreticheskie osnovy ozdorovitelnoj fizicheskoj kultury : monografiya / V.I. Bondin. – M. : Sovetskij sport, 2023. – 284 s.
4. Vasileva, D.K. Integrativnye podkhody k organizatsii proizvodstvennoj gimnastiki v usloviyakh tsifrovoj ekonomiki / D.K. Vasileva // Fizicheskaya kultura i sport: teoriya i praktika. – 2024. – T. 9. – № 2. – S. 103–112.
5. Petrov, D.S. Professionalno-obuslovlennij dvigatelnij defitsit kak osnova differentsiatsii fizkulturnykh programm / D.S. Petrov, N.I. Loginova // Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta. – 2023. – № 12(206). – S. 145–153.

© М.И. Северьянова, С.В. Аргунова, 2026

УДК 378.147

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧАСТИЧНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС СОВРЕМЕННОГО ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ: КОНЦЕПЦИЯ И ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

С.В. ФИЛИН, Н.И. МАРКИН

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел

Ключевые слова и фразы: высшее образование; дидактика высшей школы; искусственный интеллект в образовании; компетенции преподавателя; нейросети; педагогическое моделирование; цифровая трансформация.

Аннотация: В статье рассматривается проблема изменения образовательного процесса в вузах под влиянием технологий искусственного интеллекта (**ИИ**). Актуальность исследования обусловлена противоречием между активным использованием студентами генеративных нейросетей (*ChatGPT*, *DeepSeek* и других аналогов) и отсутствием педагогических стратегий, адаптированных под использование данных инструментов в современной университетской практике. Целью исследования являются разработка и теоретическое обоснование модели частичной интеграции ИИ в процесс обучения студентов, ориентированной на повышение качества их подготовки без снижения роли педагогического руководства. Методология основана на анализе современных российских и зарубежных исследований в области цифровой дидактики в период с 2022 по 2025 г., а также на методах педагогического моделирования и прогнозирования. Авторами предложена структурно-функциональная модель, включающая три взаимосвязанных компонента: целевой (развитие критического мышления и автономии студента), содержательный (адаптация учебных заданий под формат «человек + ИИ») и технологический (регламенты использования нейросетей). В статье приводится прогноз положительных эффектов внедрения предлагаемой модели: повышение мотивации студентов за счет работы с современными технологиями, повышение качества проработки проектных заданий и оптимизация рутинных задач преподавателя. Научная новизна состоит в обосновании включения в бинарную дидактическую систему новой составляющей в виде искусственного интеллекта, в результате чего возникает тернарная модель «преподаватель – ИИ – студент». Материалы статьи могут быть использованы при проектировании учебных программ дисциплин и программ повышения квалификации профессорско-преподавательского состава.

Современный этап развития высшего образования характеризуется значительным ростом влияния технологий искусственного интеллекта на академическую среду. Появление и стремительное совершенствование генеративных нейросетей (*Large Language Models*), способных создавать связные осмысленные тексты, решать задачи и генерировать программный код, поставили перед университетским сообществом ряд фундаментальных вопросов. С одной стороны, студенты активно используют эти инструменты для выполнения учебных заданий, зачастую стихийно, не вдумчиво и без должного методического сопровождения. С другой стороны, преподаватели высшей школы столкнулись с ситуацией, в которой традиционные подходы к организации учебного процесса не учитывают возможность педагогически обоснованного вза-

имодействия обучающегося с ИИ.

Анализ научной литературы последних лет [3; 7; 10] свидетельствует о том, что проблема интеграции ИИ в образование активно обсуждается, однако основное внимание акцентируется либо на возможностях программного обеспечения, либо на запретах и борьбе с плагиатом. Педагогическая же составляющая остается недостаточно проработанной – какие именно изменения необходимо внести в учебный процесс, чтобы использование ИИ работало на достижение образовательных целей.

Возникает противоречие между назревающей потребностью в адаптации процесса обучения в вузах к новым технологическим реалиям и отсутствием научно обоснованных моделей такой адаптации.

Целью данной статьи является разработка и теоретическое обоснование педагогической модели частичной интеграции ИИ в образовательный процесс университета, а также прогнозирование ее потенциальной эффективности. В задачи исследования входят: 1) анализ существующих подходов к использованию ИИ в зарубежной и отечественной практике высшего образования; 2) определение дидактических функций ИИ в системе «преподаватель – студент»; 3) построение структурно-функциональной модели частичной интеграции; 4) обоснование прогнозируемых образовательных результатов внедрения данной модели.

Теоретико-методологическую основу исследования составили работы в области цифровой дидактики [1; 2], теории деятельности [6], концепции персонализированного обучения [5], а также современные публикации, посвященные применению искусственного интеллекта в образовании, содержащиеся в базах РИНЦ, *Scopus* и *Web of Science* за период 2022–2025 гг.

Для решения поставленных задач применялся комплекс методов:

- теоретический анализ научной литературы, позволивший выявить основные направления обсуждения роли ИИ в современном образовании;
- метод педагогического моделирования, с помощью которого была разработана авторская структурно-функциональная модель образовательного процесса с использованием ИИ;
- прогностический метод, использованный для оценки потенциальных образовательных эффектов предлагаемой модели;
- сравнительный анализ подходов к регулированию использования ИИ в различных высших учебных заведениях.

Анализ современных подходов к использованию ИИ в высшей школе

Проведенный анализ позволяет выделить два основных подхода к проблеме ИИ в современном вузе.

Первый, наиболее распространенный в 2023–2024 гг., можно охарактеризовать как рестриктивный (ограничительный). Он выражается в тотальном запрете использования нейросетей, внедрении систем выявления сгенерированных текстов и ужесточении требований к самостоятельности выполнения заданий. Исследования показывают, что данный подход оказался низкоэффективным: студенты находят способы обхода запретов, а сам запрет не решает задачу подготовки специалистов к работе в цифровой экономике, где навыки взаимодействия с ИИ становятся обязательными.

Второй подход – адаптивный. Он предполагает постепенное внедрение ИИ в образовательный процесс. Однако анализ публикаций показывает, что большинство работ, описывающих данный подход, ограничиваются характеристикой технического инструментария, не предлагая целостной дидактической концепции. Это, в свою очередь, создает риск фрагментарного и бессистемного использования ИИ, что может способствовать снижению, а не повышению качества образования.

Дидактические функции искусственного интеллекта в высшем образовании

Для построения эффективной модели следует четко определить, какие именно функции в образовательном процессе может выполнять ИИ. На основе обобщения опыта, описанного в литературе [8; 9], мы выделяем три базовые функции.

1. Ассистивная функция: ИИ выступает в роли помощника преподавателя, автоматизируя рутинные задачи – генерацию вариативных заданий, первичную проверку тестовых работ, подготовку справочных материалов. Это позволяет высвободить время преподавателя для непосредственного взаимодействия со студентами и научной работы.

2. Тьюторская (адаптивная) функция: ИИ анализирует образовательные результаты сту-

дента и выстраивает индивидуальную траекторию дальнейшего процесса обучения, предлагая дополнительные материалы или задания в зависимости от выявленных недостатков. Реализация данной функции в полном объеме требует интеграции ИИ с системами управления обучением (*LMS*).

3. Инструментальная (эвристическая) функция: ИИ используется студентом как инструмент решения учебных и исследовательских задач – для обработки данных, генерации идей, проверки гипотез, написания черновых вариантов текстов. Именно данная функция вызывает наибольшие споры, так как именно здесь возникает риск подмены самостоятельной работы студента работой машины.

Авторская модель частичной интеграции ИИ в образовательный процесс университета

Учитывая выявленные функции и существующие риски, мы предлагаем модель частичной интеграции ИИ. Основная идея модели заключается в отказе от бинарной системы «преподаватель – студент» и переходе к тернарной системе «преподаватель – ИИ – студент», где ИИ занимает место инструментального посредника (помощника), а не заменяет кого-либо из субъектов образовательного процесса.

Модель включает три взаимосвязанных компонента.

1. *Целевой компонент.* Целью внедрения модели является не просто ознакомление студентов с технологией, а повышение качества образования за счет:

а) углубления проработки учебного материала (за счет высвобождения времени от рутинных задач);

б) развития критического мышления (за счет необходимости осуществлять проверку данных, полученных от ИИ);

в) формирования актуальных цифровых знаний и навыков выпускника.

2. *Содержательный компонент.* Данный компонент предполагает изменение содержания учебных дисциплин путем введения заданий особого типа, ориентированных на совместную работу человека и ИИ.

- Задания на критический анализ: студенту предлагается текст, сгенерированный нейросетью, который необходимо проверить на достоверность фактов, дополнить, исправить ошибки и аргументировать внесенные правки.
- Задания на промпт-инжиниринг: студент должен научиться грамотно формулировать запрос к нейросети для решения конкретной задачи, что само по себе является развитием навыка системного мышления.
- Проектные задания с ИИ-ассистентом: ИИ используется как инструмент на этапе сбора и первичного анализа информации для курсовой или дипломной работы.

3. *Технологический компонент.* Модель предполагает разработку и принятие на уровне вуза или кафедры четких регламентов использования ИИ. Регламенты должны определять, в каких видах работ использование ИИ разрешено и поощряется, а в каких – недопустимо (например, в итоговой аттестации, где проверяется исключительно личный вклад студента). Важным элементом является обязательное указание студентом факта использования ИИ в списке использованных источников и инструментов.

Прогнозируемые результаты внедрения модели

Поскольку предлагаемая модель является прогностической, мы оцениваем ее потенциальные эффекты на основе анализа логики образовательного процесса и имеющегося опыта внедрения технологических решений (использование персональных компьютеров, интернета). Мы прогнозируем следующие положительные результаты.

1. Повышение мотивации обучающихся. Работа с современными высокотехнологичными инструментами, используемыми в науке и реальном секторе экономики, повышает вовлеченность студентов и восприятие образовательного процесса как актуального, приносящего пользу в будущей деятельности.

2. Рост качества проектной и исследовательской работы. Использование ИИ как инструмента обработки больших данных или генерации гипотез позволяет студентам выходить на более высокий уровень сложности в своих работах, что в традиционной модели является невозможным в связи с ограничениями во времени и вычислительных мощностях.

3. Развитие критического мышления. Как бы парадоксально не звучало, но грамотно организованная работа с ИИ ведет к росту критичности: чтобы проверить информацию, сгенерированную машиной, студент должен сам глубоко погрузиться в материал. Как показано в

работах Д. Канемана [4], автоматизм мышления снижается, когда человек сталкивается с необходимостью верифицировать готовый ответ.

4. Оптимизация нагрузки преподавателя. Автоматизация рутинных задач (при условии разработки качественных автоматизированных систем) освобождает ресурс преподавателя для наставничества, индивидуальных консультаций и научного творчества.

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Стихийное проникновение технологий ИИ в высшее образование требует не запретительных, а адаптивных педагогических стратегий, основанных на глубоком понимании дидактических возможностей и рисков новой технологии.

2. Предложенная модель частичной интеграции ИИ, базирующаяся на тернарном взаимодействии «преподаватель – ИИ – студент», позволяет грамотно встроить новые инструменты в учебный процесс, сохранив ведущую роль педагога.

3. Основными направлениями изменений в содержании образования становятся введение заданий на критический анализ ИИ-контента, развитие промпт-инжиниринга и использование ИИ в проектной деятельности.

4. Прогнозируемыми эффектами внедрения модели выступают повышение мотивации и качества подготовки студентов, развитие их критического мышления, а также оптимизация рутинной нагрузки профессорско-преподавательского состава.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее материалы могут служить основой для обновления рабочих программ учебных дисциплин и разработки модулей повышения квалификации преподавателей вузов по направлению «Цифровые технологии в образовании». Дальнейшие исследования должны быть направлены на эмпирическую проверку предложенной модели в условиях реального образовательного процесса.

Литература

1. Вайндорф-Сысоева, М.Е. Виртуальная образовательная среда: категории, характеристики, схемы решения / М.Е. Вайндорф-Сысоева. – М. : МГОУ, 2023. – 158 с.

2. Гнатышина, Е.В. Цифровая трансформация педагогического образования: модели и технологии / Е.В. Гнатышина. – Челябинск : Южно-Уральский научный центр, 2024. – 210 с.

3. Иванов, А.П. Искусственный интеллект в высшем образовании: вызовы и перспективы / А.П. Иванов // Педагогика и просвещение. – 2024. – № 2. – С. 45–58.

4. Канеман, Д. Думай медленно… решай быстро / Д. Канеман. – М. : АСТ, 2021. – 653 с.

5. Ковалева, Т.М. Основы тьюторского сопровождения в общем образовании / Т.М. Ковалева. – М. : МГПУ, 2022. – 180 с.

6. Леонтьев, А.Н. Деятельность. Сознание. Личность / А.Н. Леонтьев. – М. : Смысл, 2020. – 431 с.

7. Петрова, С.В. Формирование цифровых компетенций будущих педагогов в условиях интеграции ИИ / С.В. Петрова // Высшее образование в России. – 2025. – Т. 34. – № 1. – С. 112–125.

8. Holmes, W. Artificial Intelligence in Education. Promises and Implications for Teaching and Learning / W. Holmes, M. Bialik, C. Fadel. – Boston : Center for Curriculum Redesign, 2023. – 240 p.

9. Selwyn, N. Should Robots Replace Teachers? AI and the Future of Education / N. Selwyn. – Cambridge : Polity Press, 2024. – 210 p.

10. Siemens, G. Learning Analytics and Artificial Intelligence in Higher Education / G. Siemens // International Review of Research in Open and Distributed Learning. – 2023. – Vol. 24. – No. 3. – P. 1–18.

References

1. Vajndorf-Sysoeva, M.E. Virtualnaya obrazovatelnaya sreda: kategorii, kharakteristiki, skhemy resheniya / M.E. Vajndorf-Sysoeva. – M. : MGOU, 2023. – 158 s.

2. Gnatyshina, E.V. TSifrovaya transformatsiya pedagogicheskogo obrazovaniya: modeli i tekhnologii / E.V. Gnatyshina. – CHelyabinsk : YUzhno-Uralskij nauchnij tsentr, 2024. – 210 s.

3. Ivanov, A.P. Iskusstvennij intellekt v vysshem obrazovanii: vyzovy i perspektivy / A.P. Ivanov //

Pedagogika i prosveshchenie. – 2024. – № 2. – S. 45–58.

4. Kaneman, D. Dumaj medlenno… reshaj bystro / D. Kaneman. – M. : AST, 2021. – 653 s.

5. Kovaleva, T.M. Osnovy tyutorskogo soprovozhdeniya v obshchem obrazovanii / T.M. Kovaleva. – M. : MGPU, 2022. – 180 s.

6. Leontev, A.N. Deyatelnost. Soznanie. Lichnost / A.N. Leontev. – M. : Smysl, 2020. – 431 s.

7. Petrova, S.V. Formirovanie tsifrovykh kompetentsij budushchikh pedagogov v usloviyakh integratsii II / S.V. Petrova // Vysshee obrazovanie v Rossii. – 2025. – T. 34. – № 1. – S. 112–125.

© С.В. Филин, Н.И. Маркин, 2026

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ
SCIENCE PROSPECTS
№ 4(199).2026.
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Подписано в печать 21.04.2026 г.
Дата выхода в свет 28.04.2026 г.
Формат журнала 60×84/8
Усл. печ. л. 47,43. Уч.-изд. л. 26,38.
Тираж 1000 экз.
Цена 300 руб.
16+
Издательский дом ООО «НТФ РИМ».