

ISSN 2077-6810

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ

SCIENCE PROSPECTS

№ 6(201).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**

Технология и организация 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Экспертный совет журнала

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

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

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

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

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

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

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

Винокуров Р.Н., Гальчич М.А. Обзор современных методов транскрибирования одноинструментальной звуковой дорожки.....	10
Голубева А.С., Нурмухаматов М.А., Мишкин В.И., Черный А.В. Равновесие по Штакельбергу при неопределенности спроса и дифференцированных удельных издержках.....	15
Лукута Е.С., Аристов А.О., Лукута А.Л. Многоуровневая архитектура мультимодальной системы анализа и визуализации биомедицинских данных в мультимедийных выставочных инсталляциях.....	21
Лукута Е.С., Аристов А.О., Пшеничников М.С., Грибанов Д.С., Лукута А.Л. Применение нейроинтерфейса в анализе эффективности эмоциональной регуляции в иммерсивной цифровой среде.....	30
Макаренко К.В., Попова О.А., Добронев Б.С. Прогнозирование деградации серверного оборудования на основе адаптивного ансамблирования моделей SARIMA и LSTM.....	38
Мамбев М.М., Андреев В.В., Алхазайме Х.А.К. Алгоритм и метод прогнозирования критерия гидравлического сопротивления жидкого натрия в контурах теплообменников	43
Мамбев М.М., Андреев В.В., Алхазайме Х.А.К. Метод и алгоритм обработки данных для идентификации критерия гидравлической характеристики алюминиевого контура теплообменника.....	50
Петрянкин А.В., Гродзенский Я.С. Модель динамической поверхности атаки сетевого уровня для систем удаленного доступа.....	56
Скобцов В.Ю., Потапов С.А., Ефремов А.С. Автоматизация переговорного процесса на основе больших языковых моделей.....	61
Степанов П.А., Ушаков Д.П., Козлов А.В., Кочемиров М.А. Эмпирическая оценка производительности подсистем рендеринга SKIA и Impeller во Flutter для мобильных устройств разных классов.....	67
Xiao Shuxin, Turkina N.R. Information Technologies for Designing Metro Rolling Stock	74
Турянский А.М., Солдатов А.И. Интеллектуальная система распределенной акустической диагностики автотранспорта на основе интегральной оценки акустических признаков	78
Хусниев Д.А., Воронкова О.В. Алгоритмы обработки облаков точек и системный анализ их реконструкции в элементы цифровых информационных моделей зданий	83
Хусниев Д.А., Воронкова О.В. Разработка алгоритмов многокритериальной оптимизации геометрических параметров несущих элементов информационных моделей зданий.....	87
Хусниев Д.А., Воронкова О.В. Системный анализ и алгоритмизация процессов автоматизированного синтеза цифровых информационных моделей металлических каркасов зданий..	92
Хусниев Д.А., Воронкова О.В. Системный анализ и оценка факторов риска при координации междисциплинарных проектов в едином информационном пространстве	98
Шмыглев Д.Н., Судаков В.А. Влияние роли агента генерации текстов на результаты выявления текстовых аномалий.....	102

Автоматизация и управление

Апана К.А., Шичкина Ю.А. Алгоритмическое устранение артефактов граничного усечения при выводе методом скользящего окна в трехмерном случае для сегментации головного мозга.....	106

Содержание

Исаев В.С., Дробинцев П.Д. Анализ эффективности структурных методов представления исходного кода для больших языковых моделей.....	110
Кривоногов Д.Ю., Чистяков И.А., Калитин Д.В. Методика проектирования вектора наблюдений для систем управления локомоцией шагающих роботов на основе обучения с подкреплением.....	115
Фирсов А.В., Чикунов И.М., Каршаков П.Е. Алгоритмический выбор и комбинирование UI-паттернов для веб-интерфейсов промышленных предприятий на основе деревьев решений и онтологического моделирования.....	121
Чистяков И.А., Кривоногов Д.Ю., Воротников С.А. Повышение робастности RL-политик управления манипулятором методом доменной рандомизации	127

Математическое моделирование и численные методы

Магомедрасулов К.О., Семедов М.А., Магомедов Д.А., Мирземагомедов М.Р. Математическое моделирование ультразвукового мониторинга заживления переломов длинных трубчатых костей и обоснование параметров датчика	132
Малахов С.В., Ким С.В., Закиров А.Ф., Подопрелов К.И. Разработка и валидация модели угроз для сетей интернета вещей с использованием генеративно-состязательных сетей для создания и тестирования адаптивных атак	137
Rogozina N.G., Eliseeva Yu.V. Analytic Computation of Morse Index for Solutions of Schrödinger Equation with Translational Parameter on Star Graph.....	142

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха

Фокин В.М., Нестеренко С.В., Легкий А.Д., Усадский Д.Г. Система теплоснабжения с флюидным теплоносителем, конвектором и радиатором воздушного отопления.....	155

Технология и организация строительства

Коростелев С.С., Лapidус А.А., Руденко А.А. Метод комплексного расчета организационно-технологической надежности ремонта поврежденных взрывом зданий	159
Сорокина Д.А., Лapidус А.А., Руденко А.А. Моделирование и методика выбора вида работ при повреждении зданий от взрывного воздействия.....	166
Хубаев А.О., Альсад К., Румянцев И.С. Повышение эффективности монолитных работ в условиях жаркого климата Сирии.....	173

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Теория и методика обучения и воспитания

Аникина М.А., Бутенко В.Н., Авдеева Т.Г., Винник Е.О. Взаимосвязь добросовестности и нейротизма как фактор истощения нервной системы у студентов-первокурсников	178
Аникина М.А., Макеев С.А., Туранова Л.М., Машанов А.А. Взаимосвязь устойчивости к кибербуллингу с самооценкой и эмоциональным интеллектом у студентов-первокурсников.....	182
Ануфриев К.С., Данилова Н.В. Адаптация специализированных упражнений сферы лыж.....	

Содержание

ной подготовки для интегрированного применения со студентами в вузе	186
Будищева А.А., Никонова Н.И. Интервьюирование как средство характеристики героев при изучении романа-эпопеи Л.Н. Толстого «Война и мир»	189
Горбунова А.И., Мосина Н.А. Стилль преподавания как основа становления психологического климата в классе.....	193
Кладкин Н.Н., Кладкина С.Н. Роль плавания в здоровьесбережении студентов как учебной дисциплины вуза в условиях Севера.....	197
Куриной В.А., Сейдаметова З.С. Рост дефицита педагогических кадров в РФ на 2026 год.....	202
Кучкова Л.А., Шредер А.Ю., Кузнецова Н.С., Цокур А.В. Влияние занятий физической культурой на снижение стресса у обучающихся в период экзаменационной сессии	206
Медведев А.В., Астафьев К.А., Финикова О.В., Тараканова А.А. Особенности огневой подготовки обучающихся образовательных организаций МВД России к действиям в экстремальных условиях.....	210
Овчинникова П.Р., Лавина Т.А. Методика формирования профессиональной компетентности тестировщика информационных систем у будущих ИТ-специалистов в процессе обучения с применением технологии виртуальной реальности	214
Пяшкур Ю.С., Пономарева Л.И. Особенности формирования словаря прилагательных у старших дошкольников с общим недоразвитием речи III уровня.....	222
Северьянова М.И., Тянь Лун Анализ технико-тактических характеристик игры на подаче и приеме у китайской теннисистки Сунь Инша.....	229
Чжан Сюэлинь, Ван Цзяньли Синтаксические трансформации в русских переводах «Лунь Юй» на основе коммуникативной грамматики	233

Профессиональное образование

Баишев И.И., Шергин Г.Н., Григорьева А.Г. Методы профилактики травм у спортсменов-любителей.....	238
Батищев В.Н., Кочнев В.А., Охотников Ю.М., Чайникова Р.В. Психологические модели взаимосвязи семейных концепций и эмоционального интеллекта курсантов образовательной организации МВД России.....	243
Днепров Е.А., Сморчкова В.П. Особенности построения системы повышения квалификации педагогов на основе андрагогической фасилитации	253
Комарова Н.А., Пьянзова Е.Г. Физическая культура как инструмент развития координационных способностей студентов ИТ-специальностей.....	258
Молодых Е.А., Павлова С.В. Практический аспект применения современных подходов к обучению магистрантов иностранному языку в неязыковом вузе	262
Сафонова В.Ю., Акимова Л.А. Аксиологический и контекстный подходы в подготовке учителей ОБЗР: опыт моделирования учебных ситуаций.....	266
Чалкин Д.В., Кан И.П. Историко-педагогический анализ военной подготовки студентов в вузах Советского Союза во второй половине XX-го века.....	270
Шавлов А.В., Бубин М.Н., Хохотва С.В. О подходах к определению методов обучения в авиационном вузе	277

Contents

INFORMATION TECHNOLOGY

System Analysis, Control and Information Processing

Vinokurov R.N., Galchich M.A. Overview of Modern Methods for Transcribing Single-Instrument Audio Tracks	10
Golubeva A.S., Nurmukhamadov M.A., Mishkin V.I., Cherny A.V. Modification of the Stackelberg Model with Demand Uncertainty and Differentiated Costs.....	15
Lukuta E.S., Aristov A.O., Lukuta A.L. Multi-Level Architecture of a Multimodal System for Biomedical Data Analysis and Visualization in Multimedia Exhibition Installations.....	21
Lukuta E.S., Aristov A.O., Pshenichnov M.S., Gribanov D.S., Lukuta A.L. Application of a Brain-Computer Interface for Analyzing the Effectiveness of Emotion Regulation in an Immersive Digital Environment.	30
Makarenko K.V., Popova O.A., Dobronets B.S. Forecasting Server Hardware Degradation Based on Adaptive Ensembling of SARIMA and LSTM Models.....	38
Mambwe M.M., Andreev V.V., Alkhazaim H.A.K. Algorithm and Method for Predicting the Hydraulic Resistance Criterion of Liquid Sodium in Heat Exchange Equipment Loops	43
Mambwe M.M., Andreev V.V., Alkhazaim H.A.K. Method and Algorithm for Data Processing to Identify the Hydraulic Characteristic Criterion of an Aluminum Heat Exchange Equipment Loop.....	50
Petryankin A.V., Grodzensky Ya.S. Model of Dynamic Attack Surface at the Network Level for Remote Access Systems	56
Skobtsov V.Yu., Potapov S.A., Efremov A.S. LLM-Based Negotiation Process Automation	61
Stepanov P.A., Ushakov D.P., Kozlov A.V., Kochemirov M.A. Empirical Evaluation of the Performance of the SKIA and Impeller Rendering Engines in Flutter for Mobile Devices of Different Classes.....	67
Сяо Шусинь, Туркина Н.Р. Информационные технологии проектирования подвижного состава метрополитена	74
Turyansky A.M., Soldatov A.I. Intelligent System for Distributed Acoustic Diagnostics of Road Vehicles Based on Integral Assessment of Acoustic Features	78
Khusniev D.A., Voronkova O.V. Point Cloud Processing Algorithms and Systems Analysis of Their Reconstruction into Digital Building Information Model Elements.....	83
Khusniev D.A., Voronkova O.V. Development of Algorithms for Multi-Criteria Optimization of Geometric Parameters of Load-Bearing Elements in Building Information Models	87
Khusniev D.A., Voronkova O.V. System Analysis and Algorithmization of Processes for the Automated Synthesis of Digital Information Models of Metal Building Frameworks.....	92
Khusniev D.A., Voronkova O.V. System Analysis and Assessment of Risk Factors in the Coordination of Interdisciplinary Projects Within a Unified Information Space	98
Shmyglev D.N., Sudakov V.A. Impact of Assigning a Role to LLM Text Generating Agent on the Text Anomaly Detection Performance	102

Automation and Control

Apana K.A., Shichkina Yu.A. Algorithmic Removal of Boundary Truncating Artifacts in 3D Sliding Window Inference for Brain Segmentation.....	106
Isaev V.S., Drobintsev P.D. Performance Analysis of Structural Methods of Source Code Representation for Large Language Models	110

Contents

Krivoronogov D.Yu., Chistyakov I.A., Kalitin D.V. Observation Vector Design Methodology for Locomotion Control Systems of Walking Robots Based on Reinforcement Learning	115
Firsov A.V., Chikunov I.M., Karshakov P.E. Algorithmic Selection and Combination of UI Patterns for Industrial Web Interfaces Based on Decision Trees and Ontological Modeling	121
Chistyakov I.A., Krivoronogov D.Yu., Vorotnikov S.A. Improving the Robustness of RL Manipulation Policies Through Domain Randomization.....	127

Mathematical Modeling and Numerical Methods

Magomedrasulov K.O., Semedov M.A., Magomedov D.A., Mirzemagomedov M.R. Mathematical Modeling of Ultrasound Monitoring of Long Bone Fracture Healing and Justification of Transducer Parameters	132
Malakhov S.V., Kim S.V., Zakirov A.F., Podoprelov K.I. Development and Validation of a Threat Model for Internet of Things Networks Using Generative Adversarial Networks to Create and Test Adaptive Attacks	137
Рогозина Н.Г., Елисеева Ю.В. Аналитическое вычисление индекса Морса для решений уравнения Шредингера с параметром сдвига на графе-звезде.....	142

CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Heat Supply, Ventilation, Air Conditioning

Fokin V.M., Nesterenko S.V., Legky A.D., Usadsky D.G. Heat Supply System with a Fluid Coolant, Convector and Radiator for Air Heating	155

Technology and Organization of Construction

Korostelev S.S., Lapidus A.A., Rudenko A.A. A Method for Comprehensive Calculation of Organizational and Technological Reliability of Repairs of Buildings Damaged by Explosions.	159
Sorokina D.A., Lapidus A.A., Rudenko A.A. Modeling and Methods of Selecting the Type of Work in Case of Damage to Buildings from Explosive Impact	166
Khubaev A.O., Alsad K., Rumyantsev I.S. Improving the Efficiency of Monolithic Works in the Hot Climate Conditions of Syria.....	173

PEDAGOGICAL SCIENCES

Theory and Methods of Training and Education

Anikina M.A., Butenko V.N., Avdeeva T.G., Vinnik E.O. The Relationship Between Conscientiousness and Neuroticism as a Factor of Nervous System Exhaustion in First-year Students	178
Anikina M.A., Makeev S.A., Turanova L.M., Mashanov A.A. The Relationship Between Resilience to Cyberbullying and Self-Esteem and Emotional Intelligence in Freshman Students	182
Anufriev K.S., Danilova N.V. Adaptation of Specialized Ski Training Exercises for Integrated Application with Students at University	186
Budishcheva A.A., Nikonova N.I. Interviewing as a Means of Characterizing Characters in the Study of L.N. Tolstoy's Epic Novel "War and Peace".....	189

Contents

Gorbunova A.I., Mosina N.A. Teaching Style as a Basis for the Development of a Classroom Psychological Climate	193
Kladkin N.N., Kladkina S.N. The Role of Swimming as an Academic Discipline at University in Students' Health in Conditions of the North	197
Kurinnoy V.A., Seidametova Z.S. The Growing Shortage of Teaching Staff in the Russian Federation by 2026	202
Kuchkova L.A., Schroeder A.Yu., Kuznetsova N.S., Tsokur A.V. The Influence of Physical Education Classes on Reducing Stress in Students During the Exam Session	206
Medvedev A.V., Astafyev K.A., Finikova O.V., Tarakanova A.A. Features of Firearms Training for Students of Educational Institutions of the Ministry of Internal Affairs of Russia for Actions in Extreme Conditions	210
Ovchinnikova P.R., Lavina T.A. Methodology for Developing Professional Competence of Information Systems Tester in Future IT Specialists During Training Using Virtual Reality Technologies	214
Pyashkur Y.S., Ponomareva L.I. Features of the Formation of the Vocabulary of Adjectives in Older Preschoolers with General Speech Underdevelopment of the 3rd Level	222
Severyanova M.I., Tian Lung Analysis of Technical and Tactical Characteristics of Serve and Receive Game of Chinese Tennis Player Sun Yingsha	229
Zhang Xuelin, Wang Jianli Syntactic Transformations in Russian Translations of the Analects Based on Communicative Grammar	233

Professional Education

Baishev I.I., Shergin G.N., Grigorieva A.G. Methods of Injury Prevention in Amateur Athletes	238
Batishchev V.N., Kochnev V.A., Okhotnikov Yu.M., Chaynikova R.V. Psychological Models of Interrelation of Family Concepts and Emotional Intelligence of Cadets of the Educational Organization of the Ministry of Internal Affairs of Russia	243
Dneprova E.A., Smorchkova V.P. Features of the Construction of a System for Improving the Qualifications of Teachers Based on Andragogical Facilitation	253
Komarova N.A., Pyanzova E.G. Physical Education as a Tool for Developing the Coordination Abilities of IT Students	258
Molodykh E.A., Pavlova S.V. The Practical Aspect of Application of Modern Approaches to Teaching Master's Degree Students a Foreign Language at Technical University	262
Safonova V.Yu., Akimova L.A. Axiological and Contextual Approaches in Training Teachers in "Fundamentals of Safety and Homeland Protection": Experience of Modelling Educational Situations	266
Chalkin D.V., Kan I.P. Historical and Pedagogical Analysis of Military Training of Students at Universities of the Soviet Union in the Second Half of the 20th Century	270
Shavlov A.V., Bubin M.N., Khokhotva S.V. On Approaches to Determining Learning Methods in Aviation University	277

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТРАНСКРИБИРОВАНИЯ ОДНОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ЗВУКОВОЙ ДОРОЖКИ

Р.Н. ВИНОКУРОВ, М.А. ГАЛЬЧИЧ

ФГАОУ ВО «Московский государственный технологический университет «Станкин»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: цифровая обработка сигналов; транскрибирование; музыка; аудио; ноты; неотрицательная матричная факторизация; аппроксимация; нейронные сети; оценка мультитонов; обнаружение начал нот; отслеживание нот; преобразование константы Q ; оконное преобразование Фурье.

Аннотация: Цель статьи – рассмотреть современные подходы и тенденции в транскрибировании одноинструментальных звуковых дорожек. Представлены неотрицательная матричная факторизация и нейронные сети как наиболее актуальные подходы к музыкальному транскрибированию. Рассмотрены проблемные вопросы музыкального транскрибирования, основные подзадачи музыкального транскрибирования. Сделан особый акцент на проблеме обнаружения начал нот, интеграция решения которой в виде отдельного блока алгоритма на основе неотрицательной матричной факторизации может существенно улучшить получаемые результаты. Изучена проблема выбора входного представления данных нейросети, используемой архитектуры, а также обучения нейросети. Проанализированы несколько существующих датасетов, которые можно применить для обучения моделей музыкального транскрибирования, а также наиболее популярная в предметной области функция стоимости – двоичная кросс-энтропия. Рассмотренный материал может оказаться полезным для научных работников, инженеров систем машинного обучения и музыкальных энтузиастов.

Введение

Музыкальное транскрибирование – это процесс конвертации акустического музыкального сигнала в некоторую форму музыкальной нотации [1]. Сама форма музыкальной нотации может быть различной: фортепианная лента, обычные ноты, *MIDI*-файл являются типовыми формами представления результатов алгоритма транскрибирования. Проблема автоматического транскрибирования музыки, как и любая другая комплексная проблема, может быть декомпозирована на целый ряд подзадач, решение которых может быть осуществлено тем или иным способом. Некоторые из этих подзадач могут, в свою очередь, быть декомпозированы на еще более простые подзадачи. Существуют 4 основных уровня музыкального транскрибирования: транскрибирование на уровне кадров, на уровне нот, на уровне потоков и на уровне

нотации. Транскрибирование на уровне кадров предполагает анализ очень коротких фрагментов аудиосигнала для определения высоты звука или фундаментальной частоты [2]. В данной статье мы будем ориентироваться на результирующее представление в виде фортепианной ленты для одноинструментальной звуковой дорожки, поэтому ограничимся рассмотрением уровня кадров и уровня нот. Данную подзадачу музыкального транскрибирования называют задачей оценки мультитонов. Транскрибирование на уровне нот, в свою очередь, заключается в оценке моментов начала и окончания нот, а также их высот. При этом оценку на уровне нот можно получить двумя различными способами: через непосредственное предсказание моделью начала, окончания и высоты звучания ноты, либо через решение задачи оценки мультитонов в каждом кадре исходной спектрограммы, после чего производится постобработка,

дающая транскрипцию на уровне нот. При рассмотрении неотрицательной матричной факторизации мы будем ориентироваться на второй подход, при рассмотрении решений на основе нейронных сетей – на первый. Таким образом, в представленной работе мы ограничимся рассмотрением следующих подзадач музыкального транскрибирования: оценка мультитонов, обнаружение начал нот и отслеживание нот.

Два основных подхода к проблеме автоматического музыкального транскрибирования, которые чаще всего рассматриваются в тематических статьях, – это неотрицательная матричная факторизация и нейронные сети [3]. Первый подход подразумевает транскрибирование на уровне нот через оценку мультитонов в каждом кадре и дальнейшую постобработку полученного результата, тогда как при принятии второго подхода транскрибирование на уровне нот осуществляется посредством декомпозиции задачи музыкального транскрибирования на подзадачи и их непосредственное решение разработанной моделью. Подобная «гибкость» нейросетевых подходов по сравнению с «жесткими» вычислительными алгоритмами – это не единственное различие двух рассматриваемых подходов. Как правило, традиционные методы на основе обработки сигналов характеризуются большей простотой, скоростью работы, и способностью к генерализации, тогда как нейронные сети достигают большей производительности при условии тонкой настройки [3].

Неотрицательная матричная факторизация (NMF)

Цель неотрицательной матричной факторизации – аппроксимация неотрицательной матрицы $X \in R_{\geq 0}^{M \times N}$ произведением неотрицательных матриц $W \in R_{\geq 0}^{M \times R}$ и $H \in R_{\geq 0}^{R \times N}$, где $R \leq \min\{M, N\}$ [4]. Применение данного преобразования к амплитудной спектрограмме исходного сигнала может дать музыкально значимое разложение сигнала в виде R спектральных составляющих. В подобном разложении W содержит спектральные шаблоны составляющих разложения, а H – временную активность этих составляющих. Для получения исходной спектрограммы можно использовать как обычное оконное дискретное преобразование Фурье (англ. *STFT*, *Short-Time Fourier Transform*), так и преобразование константы Q (англ. *CQT*, *Constant-Q-Transform*) [5]. Были разработаны

простые алгоритмы получения аппроксимации матрицы в виде произведения двух матриц на основе градиентного спуска над различными нормами. Простой мультипликативный алгоритм неотрицательной матричной факторизации может быть записан в следующем виде [1]:

$$H_{am} = H_{am} \frac{\sum_i W_{ia} X_{im} / (W \cdot H)_{im}}{\sum_k W_{ka}}, \quad (1)$$

$$W_{ia} = W_{ia} \frac{\sum_m H_{am} X_{im} / (W \cdot H)_{im}}{\sum_v W_{av}}. \quad (2)$$

Преимуществами данного подхода является простота и быстрая сходимость. Также нетрудно заметить, что при условии неотрицательной инициализации матриц W и H значения элементов этих матриц, получаемые по формулам (1) и (2) также будут неотрицательными без применения дополнительных инструментов ее обеспечения. Данные правила обеспечивают невозрастание дивергенции Кулльбака-Лейблера, являющейся одной из функций стоимости из параметрического семейства функций β -дивергенции в случае $\beta = 1$. Для действительных x, y и β данное семейство функций описывается следующей формулой [6]:

$$d_\beta = \frac{1}{\beta(\beta-1)} (x^\beta + (\beta-1)y^\beta - \beta xy^{\beta-1}). \quad (3)$$

Формула (3) применима к сравнению двух действительных чисел, тогда как нам нужно оценить качество факторизации, т.е. сравнить исходную матрицу с произведением матриц ее разложения W и H . Для этого мы просто суммируем значения β -дивергенции между элементами с совпадающими индексами исходной матрицы и аппроксимирующего ее произведения. Чтобы минимизировать β -дивергенцию между матрицами, нужно использовать следующие правила обновления значений матриц W и H [5]:

$$H = H \otimes \frac{W^T (Y \otimes (W \cdot H)^{(\beta-2)})}{W^T (W \cdot H)^{(\beta-1)}}, \quad (4)$$

$$W = W \otimes \frac{(Y \otimes (W \cdot H)^{(\beta-2)})^T \cdot H}{(W \cdot H)^{(\beta-1)} \cdot H^T}. \quad (5)$$

Здесь Y – исходная факторизируемая матрица;

⊗ – поэлементное произведение двух матриц (соответственно, знак деления обозначает поэлементное деление матриц, а знак возведения в степень – поэлементное возведение матрицы в степень).

В некоторых вариациях вместо одновременного подбора матриц W и H матрица W (либо полученная эмпирически, либо предварительно полученная каким-либо другим алгоритмом) фиксируется, и подбирается исключительно матрица временной активности составляющих H . Таким образом, формулу (5) в практических имплементациях иногда опускают, реализуя только формулу (4).

Подводя итог нашему рассмотрению неотрицательной матричной факторизации, перечислим основные ее недостатки: проблема подбора подходящего ранга факторизации r , отсутствие гарантии того, что каждая высота, присутствующая в акустической записи, будет содержаться в получаемом представлении, и, наконец, факт того, что предварительно вычисленный словарь из независимых компонент не является естественным способом решения проблемы транскрибирования, поскольку такое решение подвержено переобучению [7].

Нейронные сети

Начать рассмотрение проблемы транскрибирования с помощью нейронных сетей, пожалуй, стоит с проблемы выбора представления входных данных. В их роли как правило используются представления исходного сигнала в виде спектрограмм, получаемые с помощью оконного преобразования Фурье или преобразования константы- Q . Также проблемой является проблема выбора конкретного представления исходного сигнала: использовать оконное преобразование Фурье с логарифмической шкалой или преобразование константы- Q , преобразовывать значения элементов спектрограммы в логарифмическую величину или не преобразовывать, относительно какого значения осуществлять это преобразование и т.д. Эмпирически установлено, что тип спектрограммы является вторым по относительной важности гиперпараметром моделей музыкального транскрибирования сразу после шага обучения модели [8]. При этом самыми эффективными видами спектрограмм в этом исследовании оказались два типа спектрограмм: спектрограммы с линейно отстоящими отсчетами частотной оси без ло-

гарифмического преобразования амплитудных значений, и спектрограммы с логарифмически отстоящими отсчетами частотной оси с логарифмическим преобразованием амплитудных значений.

Второй важной проблемой, касающейся применения нейронных сетей к проблеме музыкального транскрибирования, является проблема выбора архитектуры нейронной сети. Принципиальный архитектурный выбор заключается в выборе используемых функциональных слоев нейросети: использовать только полносвязные слои (класс таких моделей называют *DNN*), использовать только сверточные слои (класс таких моделей называют *AllConv*), или использовать смешанный подход, где сверточные слои следуют первыми после входного слоя, а после них следуют полносвязные слои (класс таких моделей называют *ConvNet*) [8]. Все три выбора обеспечивают хорошие результаты транскрибирования, при этом небольшим преимуществом среди этих трех классов обладает класс моделей, состоящих исключительно из сверточных слоев. Рекуррентные нейронные сети являются естественным расширением глубоких нейронных сетей, спроектированным специально для обработки последовательных данных. Поэтому архитектура на основе двунаправленных рекуррентных нейронных сетей является одним из перспективных направлений решения задачи автоматизированного музыкального транскрибирования.

Большинство подзадач музыкального транскрибирования можно переформулировать в терминах обработки матриц. Это обуславливает интерес к естественной декомпозиции задачи музыкального транскрибирования в виде отдельных блоков нейросети. Одним из ранних примеров такого подхода является модель *Onsets and Frames*, которая содержит в себе отдельный нейросетевой блок обнаружения начал нот, и использует необработанный вывод этого блока в качестве дополнительного входа для блока оценки мультитонов [9]. Соответственно, блок оценки мультитонов может вставить начало ноты в определенный кадр, только если блок обнаружения начал нот фиксирует событие начала ноты в данном кадре. Другим вариантом подобной архитектуры является разделение на функциональные блоки на основе временного интервала, прошедшего с начала появления ноты. В одной из подобных архитектур применяются 3 функциональных блока: один для об-

наружения начал нот, второй для обнаружения промежуточного этапа звучания ноты, и третий для обнаружения окончаний нот. Обработка осуществляется в рамках контекстного окна, состоящего из нескольких подряд идущих кадров исходной спектрограммы, которому рассматриваемый алгоритм ставит в соответствие матрицу $\{0; 1\}^{88 \times 3}$. Наиболее современные варианты архитектур транскрибирования содержат сразу четыре функциональных блока: блок определения громкости, блок обнаружения начал нот, блок обнаружения окончаний нот, и блок оценки мультитонов [10]. Можно предположить, что в ближайшее время продолжится развитие данного направления, а также будут разработаны архитектуры транскрибирования с еще большим числом функциональных блоков.

Наконец, третьей проблемой, связанной с адаптацией нейронных сетей к решению проблемы музыкального транскрибирования, является проблема обучения. Обучение эффективной системы транскрибирования требует обширной выборки выровненных по времени датасетов из исполнений музыки и нотаций для этих исполнений. Один из самых популярных датасетов такого рода – *MAESTRO* (что расшифровывается как *MIDI and Audio Edited for Synchronous Tracks and Organization*) содержит более недели выровненных по времени аудио и *MIDI* треков, собранных за 9 лет международного конкурса исполнений на электронном

фортепиано [3]. Существует множество других датасетов, однако они, как правило, уступают *MAESTRO* либо по качеству, либо по объему. Еще одним популярным датасетом является *MAPS* (что расшифровывается как *The MIDI aligned piano sounds*), содержащий всего 65 часов фортепианной музыки и вдобавок включающий не только живые исполнения, но и изолированные ноты и случайные аккорды. Крупнейший музыкальный датасет фортепиано *GiantMIDI-Piano* содержит 1237 часов музыки из 10855 треков, сочиненных 2786 композиторами [3].

Теперь скажем несколько слов о конфигурации систем транскрибирования. Одной из типовых конфигураций систем транскрибирования является минимизация двоичной кросс-энтропии с помощью оптимизатора (алгоритма минимизации функции стоимости) *Adam*. Соответственно, для рассматривавшегося ранее случая нейросетей, состоящих из множества функциональных блоков, существует два варианта: представлять функцию потерь как сумму кросс-энтропий для каждого из функциональных блоков [10], либо сравнивать конечный результат транскрибирования с ожидаемой аннотацией.

В представленной статье подробно рассмотрены два наиболее актуальных на данный момент подхода к музыкальному транскрибированию: неотрицательная матричная факторизация и нейронные сети.

Литература/References

1. Benetos, E. Automatic Music Transcription: An Overview / E. Benetos, S. Dixon, Z. Duan, S. Ewert // *IEEE Signal Processing Magazine*. – 2019. – No. 1. – P. 20–30. – DOI: 10.1109/MSP.2018.2869928.
2. Bhattarai, B. Korean Pansori Vocal Note Transcription Using Attention-Based Segmentation and Viterbi Decoding / B. Bhattarai, J. Lee // *Applied Sciences*. – 2024. – Vol. 14. – No. 2. – Art. 492. – DOI: 10.3390/app14020492. – EDN: CPHPOD.
3. Jamshidi, F. Machine Learning Techniques in Automatic Music Transcription: A Systematic Survey / F. Jamshidi, G. Pike, A. Das, R. Chapman // *arXiv.org e-Print archive [Electronic resource]*. – Access mode : <https://arxiv.org/pdf/2406.15249>.
4. Takahashi, N. A Unified Global Convergence Analysis of Multiplicative Update Rules for Nonnegative Matrix Factorization / N. Takahashi, J. Katayama, M. Seki, J. Takeuchi // *Computational Optimization and Applications*. – 2018. – Vol. 71. – No. 1. – P. 221–250. – DOI: 10.1007/s10589-018-9997-y. – EDN: VZUESW.
5. Khlif, A. An Iterative Multi Range Non-Negative Matrix Factorization Algorithm for Polyphonic Music Transcription / A. Khlif, V. Sethu // *Proceedings of the 16th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR 2015*. – Malaga : ISMIR, 2015. – P. 330–336.
6. Pham, M. A Second-Order Majorant Algorithm for Nonnegative Matrix Factorization / M. Pham, J.E. Cohen, T. Chonavel // *IEEE Signal Processing Letters*. – 2023. – Vol. 30. – P. 1002–1006. – DOI: 10.1109/lsp.2023.3298285. – EDN: QGTJLO.

7. Niedermayer, B. Non-Negative Matrix Division for the Automatic Transcription of Polyphonic Music / B. Niedermayer // Proceedings of the 9th International Conference on Music Information Retrieval, ISMIR 2008. – Philadelphia : ISMIR, 2008. – P. 544–549.
 8. Kelz, R. On the Potential of Simple Framewise Approaches to Piano Transcription / R. Kelz // Proceedings of the 17th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR 2016. – New York City : ISMIR, 2016. – P. 475–481. – EDN: LBJZVX.
 9. Hawthorne, C. Onsets and Frames: Dual-Objective Piano Transcription / C. Hawthorne // Proceedings of the 19th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR 2018. – Paris : ISMIR, 2018. – P. 50–57.
 10. Kim, T. Polyphonic Piano Music Transcription System Exploiting Mutual Correlations of Different Musical Note States / T. Kim // IEEE Access. – 2024. – No. 12. – P. 93689–93700. – DOI: 10.1109/access.2024.3425167. – EDN: EIZYOG.
-

© Р.Н. Винокуров, М.А. Гальчич, 2026

РАВНОВЕСИЕ ПО ШТАКЕЛЬБЕРГУ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СПРОСА И ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ УДЕЛЬНЫХ ИЗДЕРЖКАХ

А.С. ГОЛУБЕВА, М.А. НУРМУХАМADOV, В.И. МИШКИН, А.В. ЧЕРНЫЙ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: равновесие по Штакельбергу; дифференцированные удельные издержки; неопределенность спроса; ограничения производственных мощностей; неприятие риска.

Аннотация: В статье рассматривается модель конкуренции поставщиков-производителей электроэнергии (агенты-поставщики) на рынке электроэнергии с одним лидером и несколькими последователями при дифференцированных удельных издержках, ограничениях производственной мощности и неопределенном спросе потребителей (агенты-потребители). Цель исследования заключается в оценке влияния неприятия риска поставщиками на оптимальный объем выпуска электроэнергии лидером. Проверяется гипотеза о снижении объема выпуска электроэнергии лидером при росте риска вплоть до его отказа от производства. На основе концепции равновесия по Штакельбергу и анализа задач с ограничениями получены аналитические функции-реакции поставщиков-последователей, равновесный выпуск лидера и пороговое значение коэффициента риска. Численное моделирование показало, что рост неприятия риска снижает планируемый выпуск электроэнергии лидером, увеличение волатильности спроса уменьшает порог риска, а рост ожидаемого спроса повышает устойчивость лидера к риску.

Обозначения

- C_i – коэффициент издержек агента-поставщика;
- D – коэффициент предельной скорости изменения прибыли лидера;
- $F(\alpha)$ – функция распределения случайного параметра спроса;
- Q – совокупный объем выпуска электроэнергии всех поставщиков;
- q_1 – объем выпуска электроэнергии лидером;
- S_1, S_2 – агрегированные коэффициенты последователей;
- α – случайный параметр спроса/маржи;
- μ_α – математическое ожидание параметра α ;
- π_i – прибыль поставщика-последователя i ;
- K_i – предельный объем выпуска электроэнергии последователя i ;
- k_i – коэффициент предельной скорости изменения удельных издержек последователя i ;

- P – рыночная цена электроэнергии;
- Q_F – совокупный выпуск последователей;
- q_i – объем выпуска электроэнергии i -м последователем;
- U_1 – функция прибыли лидера;
- δ – коэффициент неприятия риска лидером;
- σ_α – среднее квадратическое отклонение параметра α ;
- δ_N – пороговое значение параметра риска.

Введение

Модель Штакельберга описывает последовательный выбор выпуска продукции: лидер принимает решение первым, а последователи строят свои ответы с учетом его действия [9]. Для перехода от классической дуополии к случаю нескольких последователей предполагается, что на втором этапе последователи, наблюдая выпуск лидера, одновременно выбирают свои объемы, конкурируя друг с дру-

гом согласно модели Курно [7]. Равновесное поведение по Нэшу в моделях конкуренции с дифференциальными удельными издержками фирм-производителей однородного товара подробно исследовано в работах [1; 2], но лишь в детерминированных условиях. В данной статье исследуется статическая модель конкуренции по Курно при квадратичных дифференцированных издержках и неопределенном спросе, а решением выступает равновесие по Штакельбергу.

В настоящей работе анализируется равновесие по Штакельбергу в модели рыночной конкуренции с произвольным числом гетерогенных последователей, квадратичными издержками, ограничениями мощности и не склонным к риску лидером. Влияние неопределенности спроса на преимущество первого хода исследовалось в [6], а стохастические расширения модели Штакельберга – в [4].

Для рынка электроэнергии рассматриваемая модификация модели особенно содержательна: производители действуют стратегически, спрос колеблется, а выпуск ограничен доступными мощностями. Роль ограничений мощности в количественной конкуренции исследуется в работе [5], а лидерско-последовательная структура электроэнергетического рынка рассматривается в [3].

Модель

Рассмотрим игру $n \geq 2$ лиц с заданной обратной функцией спроса:

$$P(Q, \alpha) = \alpha - Q, \quad Q = q_1 + \sum_{i=2}^n q_i,$$

где $q_1 \geq 0$ обозначает объем выпуска электроэнергии лидером, $q_i \geq 0$ – выпуск электроэнергии i -го последователя, $Q \geq 0$ – совокупный выпуск всех агентов-производителей, $\alpha \in [\underline{\alpha}, \bar{\alpha}]$ – случайный параметр спроса. Предполагается, что α является непрерывной случайной величиной с функцией распределения $F(\alpha)$ на отрезке $[\underline{\alpha}, \bar{\alpha}]$.

Производственные издержки каждого агента-производителя $C_i > 0$, $i \in \{1, \dots, n\}$ имеют квадратичный вид:

$$C_i(q_i) = c_i q_i + \frac{k_i}{2} q_i^2, \quad k_i > 0.$$

Ограничения мощности задаются условиями:

$$0 \leq q_i \leq K_i, \quad i = 1, \dots, n,$$

где параметры $C_i > 0$, $k_i > 0$ (коэффициент квадратичных издержек агента-производителя i) и $K_i > 0$ (предельный объем выпуска электроэнергии агента-производителя i) агентов-производителей различаются по предельным издержкам, степени выпуклости затрат и доступным мощностям.

Функция лучшего ответа последователя

После того, как лидер принимает решение об объеме выпуска электроэнергии q_1 , не зная реализацию α , случайный параметр спроса α принимает конкретное значение, то есть становится известным. Затем, зная q_1 и α , последователь $i \in \{2, \dots, n\}$ решает задачу максимизации прибыли:

$$\max_{0 \leq q_i \leq K_i} \{\pi_i\},$$

$\pi_i = \left(\alpha - q_1 - q_i - \sum_{j \in \{2, \dots, n\} \setminus \{i\}} q_j \right) q_i - c_i q_i - \frac{k_i}{2} q_i^2$ является функцией прибыли последователя i .

Пусть $Q_{-i} = \sum_{j \in \{1, \dots, n\} \setminus \{i\}} q_j$ – совокупный объем выпуска электроэнергии всех агентов-производителей, за исключением агента-производителя i .

Тогда для решения, когда ограничения не активны ($0 < q_i < K_i$), необходимое условие экстремума первого порядка имеет вид:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = \alpha - q_1 - 2q_i - Q_{-i} - c_i - k_i q_i = 0,$$

$$\forall i \in \{2, \dots, n\}.$$

Обозначим совокупный выпуск электроэнергии последователей через $Q_F = \sum_{j=2}^n q_j$.

Так как $Q_F = q_i + Q_{-i}$, необходимое условие первого порядка можно переписать в виде:

$$(1 + k_i) q_i + Q_F = \alpha - q_1 - c_i.$$

Введем два агрегированных параметра, ха-

рактизирующих последователей:

$$S_1 = \sum_{i=2}^n \frac{1}{1+k_i}, \quad S_2 = \sum_{i=2}^n \frac{c_i}{1+k_i}.$$

Параметр S_1 – коэффициент чувствительности последователей, который определяет, насколько сильно совокупный выпуск электроэнергии реагирует на изменение q_1 или α , а S_2 – коэффициент производственных издержек последователей, который отражает влияние индивидуальных предельных издержек c_i .

Просуммировав уравнения первого порядка для всех последователей, получим совокупную реакцию для решения, когда ограничения не активны ($0 < q_i < K_i$):

$$Q_F^{uc}(q_1, \alpha) = \frac{S_1}{1+S_1}(\alpha - q_1) - \frac{S_2}{1+S_1}.$$

Равновесный выпуск i -го последователя равен:

$$q_i^{uc}(q_1, \alpha) = \frac{1}{1+k_i} \left(\frac{\alpha - q_1 - (1+S_1)c_i + S_2}{1+S_1} \right).$$

С учетом ограничений мощности реакция последователя задается следующим выражением:

$$q_i^{uc}(q_1, \alpha) = \min_{i \in \{2, \dots, n\}} \left\{ K_i, \max_{i \in \{2, \dots, n\}} \{0, q_i^{uc}(q_1, \alpha)\} \right\}.$$

Функция лучшего ответа лидера

Если все последователи активны и их выпуск строго содержится в интервале $q_i^* \in (0, K_i)$, то в этом случае для анализа поведения лидера можно использовать суммарный выпуск электроэнергии последователей в режиме, когда ограничения мощности не активны Q_F^{uc} . Подставляя Q_F^{uc} в цену и прибыль лидера, получаем:

$$\pi_1(q_1, \alpha) = A\alpha q_1 + Bq_1 - Dq_1^2,$$

$$\text{где } A = \frac{1}{1+S_1} > 0, B = \frac{S_2}{1+S_1} - c_1, D = A + \frac{k_1}{2} > 0.$$

Знак коэффициента B определяется соот-

ношением издержек лидера и последователей:

$$B > 0 \text{ тогда и только тогда, когда } c_1 < \frac{S_2}{1+S_1}.$$

Коэффициент A показывает долю случайного изменения спроса, сохраняющуюся в прибыли лидера после реакции последователей. Чем выше их совокупная чувствительность S_1 , тем меньше A , поскольку последователи активнее реагируют на изменение спроса, корректируя свой выпуск.

Так как прибыль лидера линейна по случайному параметру α , ее математическое ожидание и среднееквадратическое отклонение имеют вид:

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_1] &= (A\mu_\alpha + B)q_1 - Dq_1^2, \\ \sigma[\pi_1] &= A\sigma_\alpha q_1, q_1 \geq 0, \end{aligned}$$

где $\mu_\alpha = \mathbb{E}[\alpha]$, $\sigma_\alpha = \sqrt{\text{Var}(\alpha)}$.

Лидер максимизирует функцию прибыли, которая описывается следующим образом:

$$U_1(q_1) = \mathbb{E}[\pi_1] - \delta\sigma[\pi_1], \quad \delta \geq 0.$$

Тогда

$$U_1(q_1) = (A\mu_\alpha + B - \delta A\sigma_\alpha)q_1 - Dq_1^2,$$

где $\delta \geq 0$ – коэффициент неприятия риска.

Необходимое условие первого порядка имеет вид:

$$\frac{\partial U_1}{\partial q_1} = A\mu_\alpha + B - \delta A\sigma_\alpha - 2Dq_1 = 0.$$

Отсюда равновесный выпуск электроэнергии лидером при отсутствии активных ограничений имеет вид:

$$q_1^{\text{int}} = \frac{A\mu_\alpha + B - \delta A\sigma_\alpha}{2D}.$$

Достаточное условие второго порядка выполняется, поскольку:

$$\frac{\partial^2 U_1}{\partial q_1^2} = -2D < 0.$$

Следовательно, функция $U_1(q_1)$ строго во-

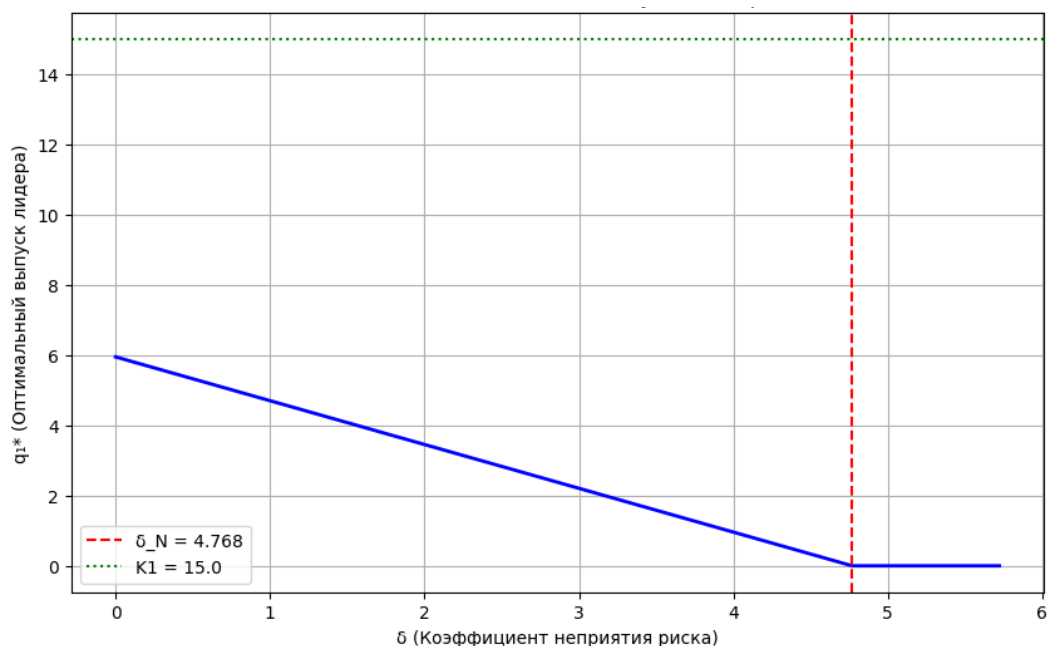


Рис. 1. Зависимость оптимального выпуска лидера от δ

гнута по q_1 , а найденное решение, при отсутствии активных ограничений, является единственным максимумом на неограниченной неотрицательной области. С учетом ограничения мощности $q_1 \in [0; K_1]$ равновесный выпуск лидера принимает вид:

$$q_1^* = \min \left\{ K_1, \max \left\{ 0, q_1^{\text{int}} \right\} \right\}.$$

Порог риска и экономическая интерпретация

Рассмотрим условие, при котором равновесный выпуск лидера становится нулевым. Так как $D > 0$, неравенство $q_1^{\text{int}} \leq 0$ эквивалентно условию:

$$A\mu_\alpha + B - \delta A\sigma_\alpha \leq 0.$$

При $A > 0$ и $\sigma_\alpha > 0$ получаем пороговое значение коэффициента неприятия риска:

$$\delta_N = \frac{A\mu_\alpha + B}{A\sigma_\alpha} = \frac{\mu_\alpha}{\sigma_\alpha} + \frac{B}{A\sigma_\alpha}.$$

Если $\delta \geq \delta_N$, равновесная стратегия лидера соответствует нулевому выпуску электроэнергии. Если $\delta < \delta_N$, лидер производит положитель-

ный объем выпуска электроэнергии, пока решение при отсутствии активных ограничений не превышает его мощность.

Тогда равновесный объем выпуска электроэнергии лидером определяется следующими условиями:

$$q_1^* = \begin{cases} 0, & \delta \geq \delta_N, \\ \frac{A\mu_\alpha + B - \delta A\sigma_\alpha}{2D}, & \delta < \delta_N \text{ и } q_1^{\text{int}} < K_1, \\ K_1, & \delta < \delta_N \text{ и } q_1^{\text{int}} \geq K_1. \end{cases}$$

При малых значениях δ лидер ориентируется преимущественно на ожидаемую прибыль. При росте δ влияние неопределенности усиливается, и оптимальный выпуск снижается. При достижении порога δ_N производство становится экономически нецелесообразным.

Численное моделирование

Для демонстрации полученных аналитических результатов проведем численный расчет. Параметры модели выбраны следующим образом. Лидер имеет линейные издержки $c_1 = 0,3$, квадратичные $k_1 = 0,1$ и ограничение мощности $K_1 = 15$. Три последователя характеризуются следующими наборами c_1 , k_1 и K_1 : (0,8;

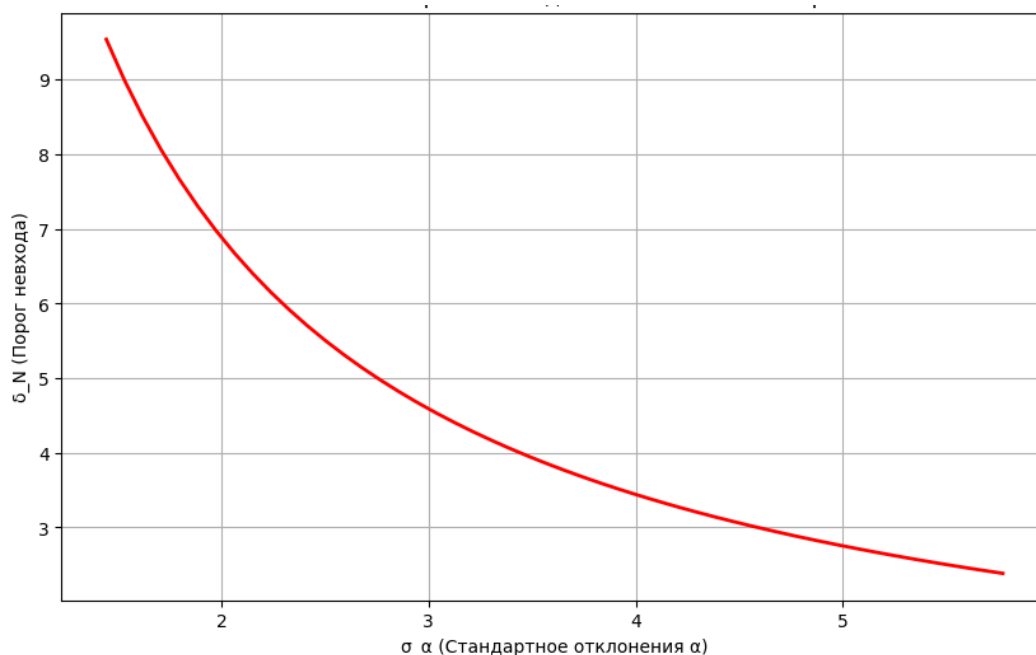


Рис. 2. Зависимость порога невыхода от волатильности спроса

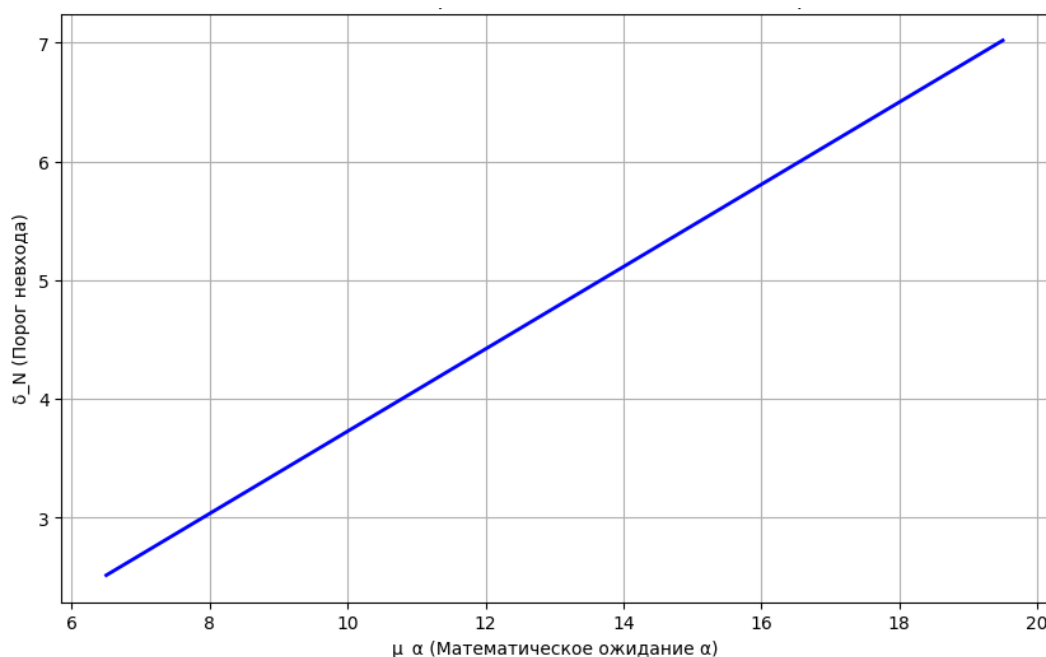


Рис. 3. Зависимость порога невыхода от ожидаемого спроса

0,4; 12), (0,9; 0,5; 11), (0,7; 0,3; 13). Случайный параметр спроса α подчиняется равномерному распределению на отрезке $[8; 18]$, откуда $\mu_\alpha = 13$, $\sigma_\alpha = 2,88$. Агрегированные коэффициенты равны $S_1 = 2,15$, $S_2 = 1,71$, $A = 0,32$, $B = 0,043$, $D = 0,368$. Порог невыхода составляет $\delta_N = 4,55$.

Варьируемыми параметрами являются коэффициент неприятия риска δ в диапазоне от 0 до $1,2\delta_N$, стандартное отклонение σ_α от $0,5\sigma_\alpha$ до $2\sigma_\alpha$ и среднее значение μ_α от $0,5\mu_\alpha$ до $1,5\mu_\alpha$.

При $\delta < \delta_N$ выпуск положителен и убывает с ростом δ , достигая нуля при $\delta = \delta_N$ (рис. 1).

Чем выше неопределенность спроса, тем ниже порог δ_N – лидер готов рисковать только при малой волатильности (рис. 2).

Рост ожидаемого спроса линейно увеличивает δ_N – лидер может выдержать больший риск, если рынок в среднем более привлекателен (рис. 3).

Закключение

Исследованная модель представляет инте-

рес для задач планирования производства электроэнергии и оценки решений в условиях неопределенного спроса.

Адаптация модели к рынку природного газа (крупный поставщик – лидер) позволяет использовать коэффициент риска как рекомендательный параметр при выборе объема производства с учетом волатильности; дальнейшая работа включает проверку на реальных данных, сбор статистики и разработку метода управления риском.

Литература

1. Кочеватов, В.А. Динамические модели конкуренции с эндогенным формированием сетевой структуры / В.А. Кочеватов, А.А. Седаков // Математическая теория игр и ее приложения. – 2023. – Т. 15. – С. 53–74. – EDN: BEASYX.
2. Кочеватов, В.А. Динамические модели конкуренции с эндогенным формированием сетевой структуры при постоянном объеме производства / В.А. Кочеватов, А.А. Седаков // Математическая теория игр и ее приложения. – 2023. – Т. 15. – Вып. 4. – С. 54–78. – DOI: 10.17076/mgta_2023_4_68. – EDN: AMFKDI.
3. Chen, Y. Leader-Follower Equilibria for Electric Power and NOx Allowances Markets / Y. Chen, B.F. Hobbs, S. Leyffer, T.S. Munson // Computational Management Science. – 2006. – Vol. 3. – No. 4. – P. 307–330. – DOI: 10.1007/s10287-006-0020-1. – EDN: UIBPAT.
4. De Wolf, D. A Stochastic Version of a Stackelberg-Nash-Cournot Equilibrium Model / D. De Wolf, Y. Smeers // Management Science. – 1997. – Vol. 43. – No. 2. – P. 190–197. – DOI: 10.1287/mnsc.43.2.190.
5. Laye, J. Uniqueness and Characterization of Capacity Constrained Cournot-Nash Equilibrium / J. Laye, M. Laye // Operations Research Letters. – 2008. – Vol. 36. – No. 2. – P. 168–172. – DOI: 10.1016/j.orl.2007.05.008.
6. Liu, Z. Stackelberg Leadership with Demand Uncertainty / Z. Liu // Managerial and Decision Economics. – 2005. – Vol. 26. – No. 5. – P. 345–350. – DOI: 10.1002/mde.1226.
7. Sherali, H.D. Stackelberg-Nash-Cournot Equilibria: Characterizations and Computations / H.D. Sherali, A.L. Soyster, F.H. Murphy // Operations Research. – 1983. – Vol. 31. – No. 2. – P. 253–276. – DOI: 10.1287/opre.31.2.253.
8. Silva, J.M. Mean-Variance Payoff Applied to Stackelberg Games / J.M. Silva, M.A. Brito, A.A. Pinto, A.A. Álvarez-López // Mathematical Methods in the Applied Sciences. – 2026. – P. 1–18. – DOI: 10.1002/mma.70627. – EDN: LUQYMD.
9. Stackelberg, H. von. Marktform und Gleichgewicht / H. von Stackelberg. – Wien; Berlin : Julius Springer, 1934. – 138 s.

References

1. Kochevadov, V.A. Dinamicheskie modeli konkurentsii s endogennym formirovaniem setevoy struktury / V.A. Kochevadov, A.A. Sedakov // Matematicheskaya teoriya igr i ee prilozheniya. – 2023. – Т. 15. – С. 53–74. – EDN: BEASYX.
2. Kochevadov, V.A. Dinamicheskie modeli konkurentsii s endogennym formirovaniem setevoy struktury pri postoyannom obeme proizvodstva / V.A. Kochevadov, A.A. Sedakov // Matematicheskaya teoriya igr i ee prilozheniya. – 2023. – Т. 15. – Вып. 4. – С. 54–78. – DOI: 10.17076/mgta_2023_4_68. – EDN: AMFKDI.

МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ БИМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ В МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ВЫСТАВОЧНЫХ ИНСТАЛЛЯЦИЯХ

Е.С. ЛУКУТА, А.О. АРИСТОВ, А.Л. ЛУКУТА

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

Ключевые слова и фразы: биомедицинские данные; EEG; PPG; мультимодальная система; синхронизация потоков; выделение признаков; визуализация данных; адаптивная мультимедийная среда; контур обратной связи; системная архитектура.

Аннотация: В статье рассматривается задача построения архитектуры мультимодальной системы анализа, обработки и визуализации биомедицинских данных в адаптивных мультимедийных средах. Цель исследования состоит в разработке многоуровневой архитектуры, обеспечивающей согласованную регистрацию EEG-, PPG- и событийных данных, их синхронизацию, предобработку, выделение признаков, оценку функционального состояния пользователя и передачу результатов в контур визуализации. Для достижения цели решаются задачи выделения функциональных уровней системы, описания интерфейсов между ними, формализации вычислительного контура обработки и определения требований к устойчивости, латентности и воспроизводимости анализа. Гипотеза исследования заключается в том, что представление мультимодальной инсталляции как единого контура «регистрация – синхронизация – признаки – состояние – сопоставление – рендеринг – обратная связь» позволяет переносить одну архитектурную логику между различными экспериментальными сценариями. Метод исследования основан на системном анализе, функциональной декомпозиции, формализации потоков данных и сопоставлении архитектурных требований с экспериментальными сценариями обработки EEG-, PPG- и событийных данных. В результате предложена многоуровневая архитектура, включающая регистрацию сигналов, синхронизацию потоков, предобработку, выделение признаков, оценку функционального состояния, адаптивное сопоставление признаков с параметрами сцены, рендеринг и наблюдаемую обратную связь. Достигнутый результат состоит в формировании воспроизводимой архитектурной схемы, пригодной для проектирования систем анализа биосигналов, интерактивных мультимедийных инсталляций, VR-сцен и экспериментальных платформ для исследования функционального состояния пользователя.

Развитие носимых сенсоров, пользовательских нейроинтерфейсов и интерактивных сред привело к появлению систем, в которых EEG-, PPG-, событийные данные и параметры сцены образуют разнородный поток, требующий синхронизации, интерпретации и воспроизводимой обработки. Для технических исследований такие среды целесообразно рассматривать как вычислительные системы с заданными входами, выходами, состояниями, ограничениями и механизмами обратной связи.

В исследованиях EEG- и BCI-систем подробно рассмотрены методы регистрации, фильтрации, спектрального анализа и построения интерфейсов мозг-компьютер [1; 2]. Отдельное направление связано с применением EEG для оценки когнитивной нагрузки, вовлеченности и функционального состояния пользователя при работе с визуальной информацией [5; 6]. В задачах визуализации биомедицинских данных, в свою очередь, исследуются способы представления сложных многомерных и временных данных в

форме, пригодной для анализа, сравнения и интерпретации [4]. В мультимедийных и иммерсивных средах эти подходы ограничены разной частотой каналов, задержками сенсоров, нестационарностью биосигналов и связью анализа с рендерингом сцены. Существующие программные платформы для BCI и нейрофизиологической обработки, включая специализированные среды анализа EEG и системы проектирования BCI-приложений, задают важные элементы вычислительного конвейера [1–3]. Для мультимодальных интерактивных сред требуется архитектурный слой, связывающий сенсорные данные, события сцены, признаки состояния, адаптивное сопоставление и визуально-звуковой отклик, а также обеспечивающий воспроизводимость и переносимость обработки.

Цель статьи состоит в разработке многоуровневой архитектуры мультимодальной системы анализа и визуализации биомедицинских данных для адаптивных мультимедийных сред. Для достижения цели описываются уровни архитектуры, вычислительный контур обработки EEG-, PPG- и событийных потоков, модель синхронизации данных, структура признаков, правила адаптивного сопоставления и требования к латентности, устойчивости и модульной реализации. Рассматривается мультимодальная интерактивная система, в которой входами являются биомедицинские сигналы, события взаимодействия и контекстные параметры сцены, а выходами – параметры визуальной, звуковой или пространственной среды и журналы данных для последующего анализа. Пусть $X_e(t)$ обозначает EEG-поток, $X_p(t)$ – PPG-поток, $E(t)$ – поток событий взаимодействия, $C(t)$ – контекстные параметры сцены. Необходимо построить архитектуру, которая преобразует разнородные входы в согласованное представление:

$$S_{aligned}(t) = Align(X_e(t), X_p(t), E(t), C(t)),$$

после чего формирует вектор признаков:

$$F(t) = [F_1(t), F_2(t), \dots, F_n(t)],$$

оценки функционального состояния пользователя $y_k(t)$ и параметры мультимедийной среды $v_j(t)$. В общем виде задача сопоставления может быть представлена следующим образом:

$$v_j(t) = f_j(y_k(t), z(t), u(t), \theta_j),$$

где $z(t)$ описывает латентную или интегральную оценку состояния пользователя, $u(t)$ задает параметры взаимодействия, а θ_j содержит параметры модели сопоставления. Для интерактивных сценариев дополнительно требуется ограничить скорость изменения параметров сцены, величину задержки и чувствительность визуального отклика к шуму входных сигналов. Задача состоит не только в обработке отдельных биосигналов, но и в построении целостного контура «регистрация – синхронизация – признаки – состояние – сопоставление – рендеринг – обратная связь». В отличие от обычной постэкспериментальной обработки, такой контур должен сохранять работоспособность при неполных данных, изменении конфигурации сенсоров и разных сценариях мультимедийной среды.

Предлагаемая архитектура строится как последовательность функциональных уровней с заданными входами, выходами и вычислительной ролью. Она описывает не отдельную инсталляцию, а обобщенный контур обработки информации, применимый к разным экспериментальным конфигурациям и отличающийся наличием промежуточных уровней синхронизации, признакового описания и контроля устойчивости. Архитектурный контур включает девять функциональных уровней: $L1$ – функциональное состояние пользователя; $L2$ – биомедицинские сигналы и события взаимодействия; $L3$ – регистрация данных; $L4$ – предобработка и синхронизация потоков; $L5$ – выделение признаков; $L6$ – оценка функционального состояния; $L7$ – адаптивное сопоставление признаков с параметрами среды; $L8$ – рендеринг мультимедийной сцены; $L9$ – среда и наблюдаемая обратная связь. Такое разбиение задает последовательность преобразования данных от регистрации сигналов до замыкания контура обратной связи и позволяет переносить архитектурную логику между различными экспериментальными конфигурациями. Обобщенная архитектурная схема представлена на рис. 1.

На уровнях $L1$ – $L3$ задается связь между пользователем, измеряемыми сигналами и средстами регистрации. Уровень $L1$ не измеряется непосредственно, а реконструируется по совокупности наблюдаемых признаков. Уровень $L2$ содержит измеряемые каналы: EEG, PPG, события взаимодействия, параметры сценария и дополнительные контекстные переменные. Уровень $L3$ отвечает за аппаратно-программную ре-

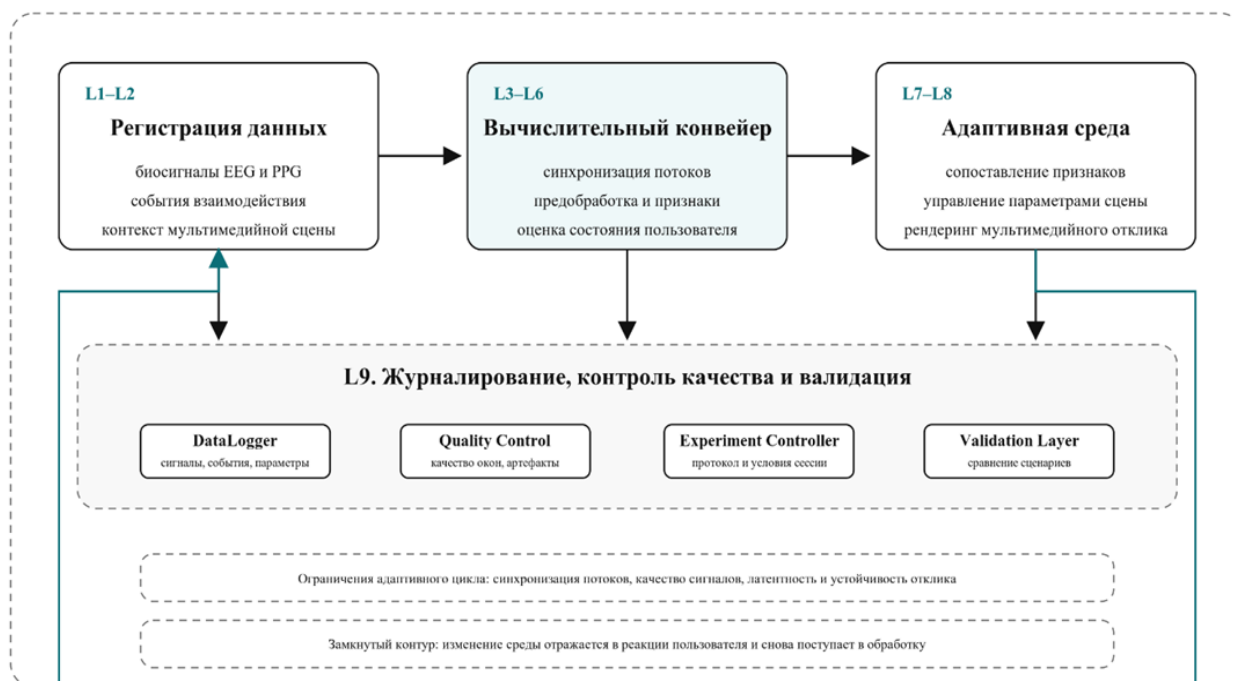


Рис. 1. Многоуровневая архитектура мультимодальной системы анализа и визуализации биомедицинских данных

гистрацию данных, включая нейроинтерфейсы, PPG-датчики, приложения сбора данных и сервисы передачи потоков.

Уровень L4 выполняет приведение входных потоков к согласованной временной шкале. Для мультимодальных систем этот уровень является обязательным, поскольку EEG, PPG, события взаимодействия и рендер-цикл имеют разные частоты обновления и разные источники задержки. На уровне L5 строится признаковое пространство, включающее спектральные, амплитудно-временные, событийные и контекстные признаки. Уровень L6 формирует оценки состояния пользователя, которые далее используются не как клинические диагнозы, а как вычислительные переменные для анализа и управления параметрами среды.

Уровень L7 задает адаптивное сопоставление признаков с параметрами мультимедийной среды. В простейшем варианте это может быть линейное масштабирование признаков, однако для устойчивой работы необходимы ограничения на скорость изменения параметров, сглаживание, пороговые правила и гистерезис. Уровень L8 реализует рендеринг сцены, а уровень L9 фиксирует наблюдаемую обратную связь: пользователь воспринимает измененную среду, продолжает взаимодействие с ней, и это взаи-

модействие отражается в последующих сигналах и событиях.

Такое разбиение отделяет измерительный уровень от интерпретации и рендеринга: при замене сенсора, среды визуализации или режима анализа сохраняется общий порядок обработки. Основным отличием мультимодальной системы от одномодального анализатора является обработка асинхронных потоков: EEG-, PPG-, событийные данные и параметры сцены имеют разные частоты обновления и источники задержки. Поэтому в архитектуре выделяется слой буферизации и временного выравнивания, в котором каждый поток поступает с временными метками и проверяется на допустимое рассогласование между каналами. Для окна обработки с центром (t) данные приводятся к согласованному массиву $S_{aligned}(t)$. В зависимости от типа канала используются интерполяция, агрегация, привязка к событию или удержание последнего актуального значения. Такой подход особенно важен для экспериментальных сценариев, где пользователь перемещается в сцене, а события среды и физиологические реакции фиксируются в разных подсистемах.

Вычислительный конвейер включает прием данных, проверку наличия каналов и временных меток, фильтрацию, нормализацию, сег-

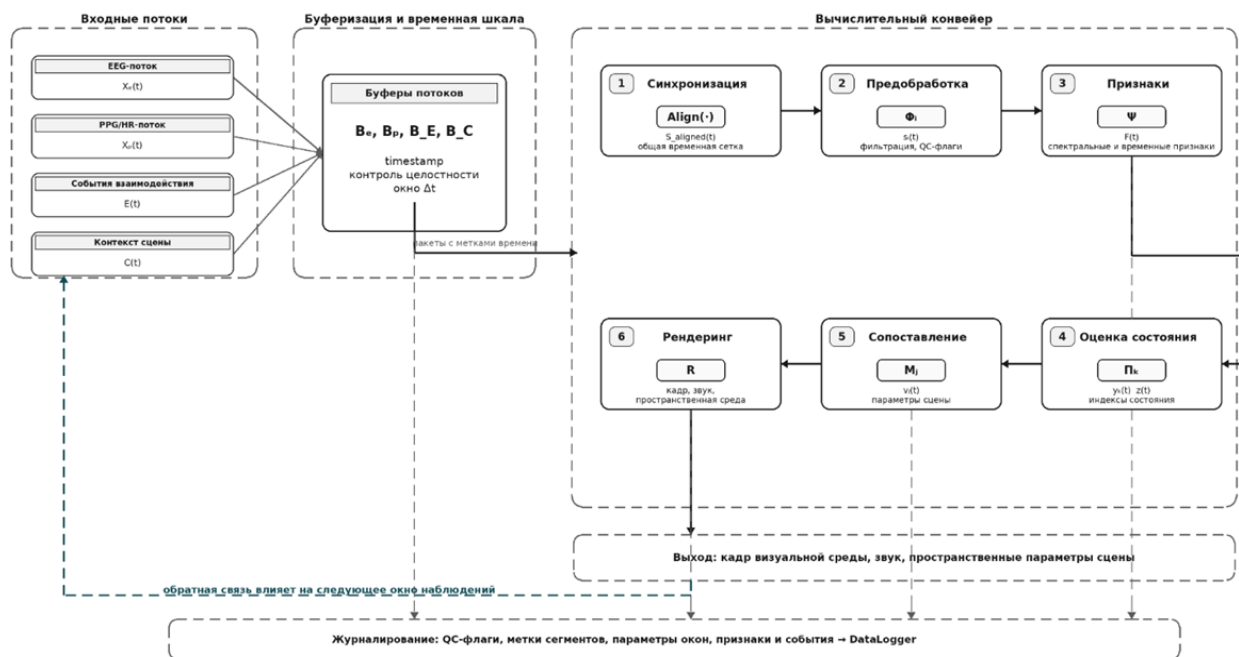


Рис. 2. Вычислительный конвейер обработки мультимодальных потоков в адаптивной мультимедийной среде

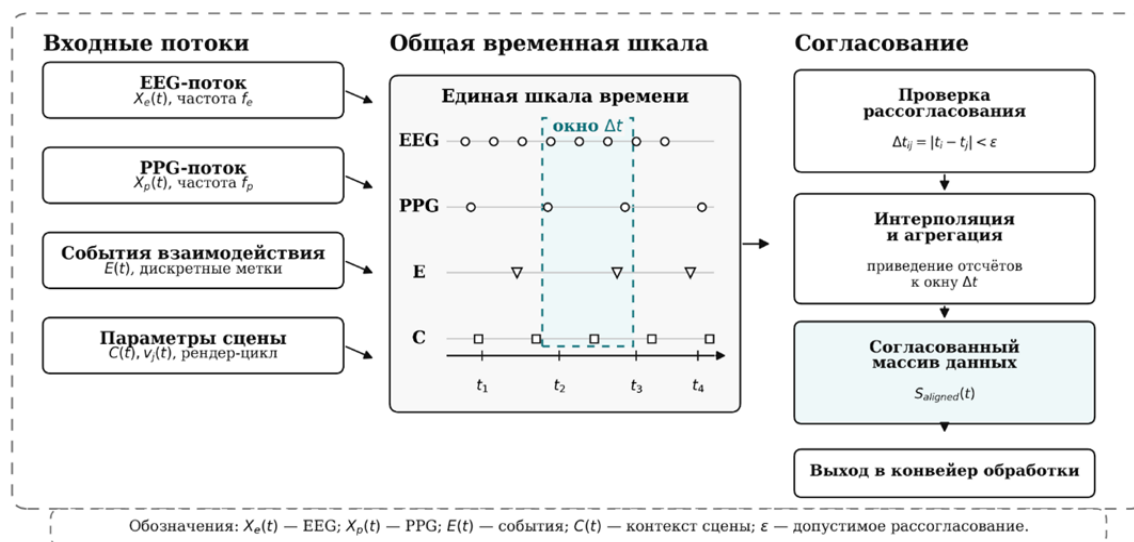


Рис. 3. Синхронизация *EEG*-, *PPG*-, событийных потоков и параметров рендеринга на общей временной шкале

ментацию по временным окнам или событиям протокола, расчет признаков, оценку состояния пользователя и формирование параметров мультимедийного отклика. Для воспроизводимости в журнале фиксируются исходные и результирующие данные, конфигурация фильтров, длительность окон, пороги качества, параметры нормализации и версия алгоритмов.

Практика анализа *EEG* подтверждает, что устойчивость результатов зависит не только от выбранного признака, но и от воспроизводимости предобработки и удаления артефактов [11; 12]. Для нестационарных и пользовательских *EEG*-записей дополнительно значимы контроль качества и корректная сегментация данных [13; 14].

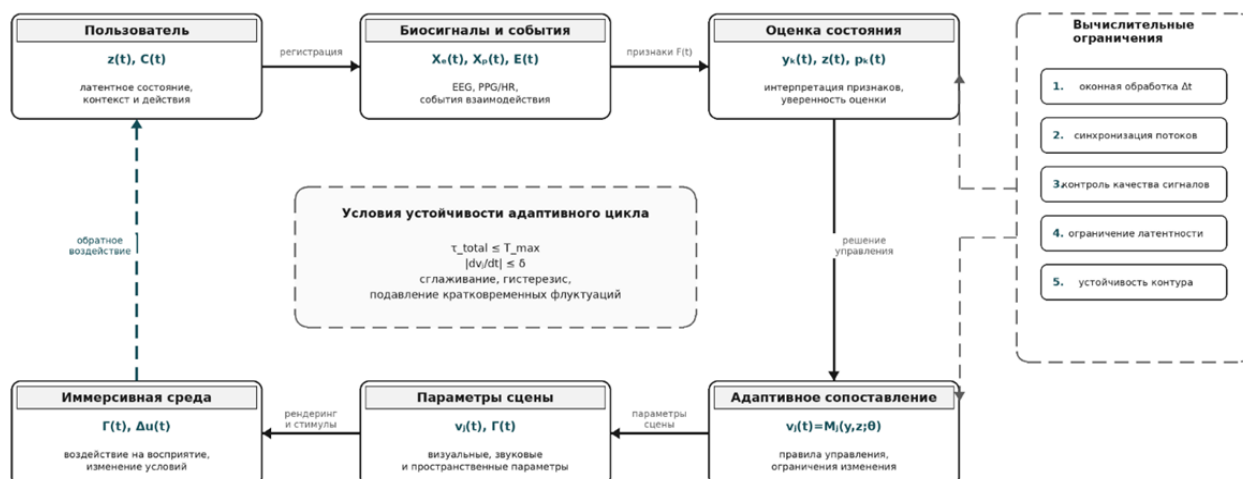


Рис. 4. Модель адаптивного сопоставления признаков функционального состояния пользователя с параметрами мультимедийной среды в замкнутом контуре обратной связи

Признаковое пространство системы формируется с учетом природы исходных потоков: для *EEG* используются спектральные характеристики, относительная мощность частотных диапазонов и межканальные соотношения; для *PPG* – амплитудно-временные параметры, оценки частоты сердечных сокращений и изменения относительно базового уровня; для событийного потока – идентификаторы условий, временные метки, длительности фаз и параметры взаимодействия со сценами. Вектор признаков задается в следующем виде:

$$F(t) = [F^{EEG}(t), F^{PPG}(t), F^E(t), F^C(t)],$$

где $F^{EEG}(t)$ описывает признаки *EEG*, $F^{PPG}(t)$ – признаки *PPG*, $F^E(t)$ – событийные признаки, $F^C(t)$ – контекстные признаки сцены. Такое разбиение позволяет явно различать физиологическую, событийную и контекстную составляющие данных. В отличие от одномодальных схем, где состояние пользователя оценивается по одному сигналу, мультимодальная архитектура допускает расширение признакового пространства без изменения общей логики обработки.

Для интерактивной среды важно различать мгновенные и интегральные признаки: первые используются для оперативного отклика, вторые – для сравнения фаз сессии или экспериментальных условий. Такое разделение позволяет не смешивать контур реального времени и постэкспериментальный анализ. Оценка функ-

ционального состояния пользователя в предлагаемой архитектуре рассматривается как вычислительная оценка, а не как клиническая классификация. Это принципиально для корректной интерпретации результатов. Портативные *EEG*-системы и носимые датчики позволяют получать данные в естественных и полевых сценариях, однако их использование требует осторожности при выводах о психофизиологических состояниях [18; 20]. Поэтому архитектура ориентирована на анализ относительных изменений, сравнение условий и воспроизводимое построение признаков, а не на утверждение медицински валидированных состояний.

Сопоставление признаков с параметрами мультимедийной среды является центральным элементом адаптивного контура. Если на предыдущих уровнях система строит согласованное и очищенное представление данных, то на уровне *L7* это представление преобразуется в параметры визуального, звукового или пространственного отклика. В общем виде такой переход описывается функцией:

$$v_j(t) = f_j(y_k(t), z(t), u(t), \theta_j),$$

где $v_j(t)$ – параметр среды, $y_k(t)$ – оценка состояния или отдельный показатель, $z(t)$ – интегральная переменная состояния, $u(t)$ – параметры взаимодействия, θ_j – настройки модели.

Для практического применения функции f_j должны удовлетворять нескольким требованиям. Во-первых, отклик среды не должен из-

меняться быстрее, чем это допустимо с точки зрения восприятия и устойчивости сцены. Во-вторых, система должна подавлять случайные выбросы и кратковременные артефакты сигнала. В-третьих, переходы между режимами должны иметь пороги и гистерезис, иначе среда будет переключаться при малых колебаниях признаков. В-четвертых, параметры сопоставления должны быть доступными для настройки под конкретный сценарий и воспроизводимыми при повторной обработке.

На уровне математического описания устойчивый отклик может задаваться через сглаживание параметров:

$$\tilde{v}_j(t) = \alpha v_j(t) + (1 - \alpha)\tilde{v}_j(t-1),$$

где α – коэффициент сглаживания, выбираемый в диапазоне от 0 до 1. При увеличении α система быстрее реагирует на изменение признаков, при уменьшении α усиливается подавление кратковременных колебаний. Дополнительно используется ограничение скорости изменения:

$$|\tilde{v}_j(t) - \tilde{v}_j(t-1)| \leq \Delta_j,$$

где Δ_j задает допустимый шаг изменения параметра сцены. Такие ограничения переводят визуализацию биомедицинских данных из области непосредственного отображения сигналов в область управляемого информационного контура.

В зависимости от задачи адаптивное сопоставление может работать в двух режимах. В аналитическом режиме оно используется для построения визуальных представлений записанных данных и сравнения экспериментальных условий. В интерактивном режиме оно формирует текущий отклик среды. Архитектура допускает обе формы применения, но требует различать их в описании эксперимента. Если биосигнал используется только для последующего анализа, уровни $L5$ – $L6$ активны в постэкспериментальном контуре. Если биосигнал влияет на параметры сцены, уровни $L7$ – $L9$ образуют контур управления.

Для систем, взаимодействующих с пользователем в реальном времени, существенным параметром является латентность. Суммарная задержка включает задержку регистрации, передачу данных, буферизацию, фильтрацию, расчет признаков, обновление модели состояния, сопоставление и рендеринг.

В общем виде бюджет задержки можно представить следующим образом:

$$T_{\Sigma} = T_{acq} + T_{buf} + T_{pre} + T_{feat} + T_{map} + T_{rend}.$$

Для интерактивного режима необходимо, чтобы T_{Σ} не превышала допустимую границу T_{max} , определяемую требованиями сценария. При постэкспериментальном анализе это ограничение менее критично, однако сохраняется требование к точности временной привязки событий и признаков. Поэтому архитектура отделяет требования к латентности отклика от требований к корректности синхронизации данных.

Устойчивость обеспечивается модульной реализацией подсистем регистрации, синхронизации, предобработки, выделения признаков, оценки состояния, сопоставления, рендеринга, управления экспериментом и журналирования. Взаимодействие между ними может строиться по событийной схеме «публикация – подписка» или через общий буфер данных с временными метками. Важно, чтобы каждый модуль имел определенный вход, выход и набор параметров. Тогда система может быть перенесена из одной аппаратной конфигурации в другую без изменения принципиальной структуры обработки.

Для портативных *EEG*-устройств и носимых датчиков это особенно важно. Исследования показывают, что системы пользовательского класса могут применяться в экспериментальных условиях, но требуют контроля качества сигнала, проверки электродов, стандартизированной предобработки и осторожной интерпретации [18–20]. Поэтому архитектура должна не скрывать аппаратные ограничения, а включать их в формальное описание конвейера.

Предложенная архитектура ориентирована на применение в нескольких типах экспериментальных сценариев. Первый тип связан с постэкспериментальным анализом *EEG*-сигналов при предъявлении разных аудиостимулов; близкий сценарий применения нейроинтерфейса для анализа влияния формы звуковой волны на состояние пользователя рассмотрен в работе [21]. Второй тип связан с визуально-тактильной средой, где *PPG*-данные и события сценария используются для анализа кардиореакции по фазам протокола; соответствующая экспериментальная постановка описана в публикации [22]. Третий тип относится к иммерсивной сре-

де эмоциональной регуляции, где особое значение имеют протокол сессии, событийная разметка и сопоставление вычисляемых метрик с фазами упражнения.

Общим для этих сценариев является их описание как частных реализаций одного архитектурного контура. При различии датчиков, признаков, рендеринга и способа обратной связи сохраняется последовательность обработки: регистрация, временная привязка, предобработка, выделение признаков, оценка состояния, сопоставление, визуализация и анализ. Это позволяет сравнивать сценарии по структуре обработки информации, а не по художественным особенностям среды.

Предложенная архитектура занимает промежуточное положение между классическими конвейерами обработки биосигналов и архитектурами интерактивных мультимедийных сред. С одной стороны, она сохраняет требования к предобработке, сегментации и признаковому анализу *EEG*- и *PPG*-данных. С другой стороны, она вводит уровни сопоставления, рендеринга и обратной связи, без которых невозможно описать адаптивную среду как вычислительную систему. В отличие от работ, где биосигнал рассматривается как отдельный управляющий канал, здесь акцент сделан на полном контуре обработки и на возможности его воспроизводимого инстанцирования в разных сценариях [15–17].

Ограничением предложенной архитектуры является то, что она не задает единственный универсальный алгоритм оценки состояния пользователя: выбор признаков и моделей за-

висит от состава сенсоров, длительности сессии и качества данных. Кроме того, наличие связи между параметрами среды и изменениями биосигналов не рассматривается как доказательство причинного влияния среды на функциональное состояние. Поэтому архитектура описывает наблюдаемый обратный канал и отделяет инженерную задачу построения системы от клинической валидации психофизиологических эффектов.

В статье предложена многоуровневая архитектура мультимодальной системы анализа и визуализации биомедицинских данных для адаптивных мультимедийных сред. Архитектура объединяет регистрацию *EEG*-, *PPG*- и событийных потоков, предобработку и синхронизацию, выделение признаков, оценку функционального состояния, адаптивное сопоставление признаков с параметрами сцены, рендеринг и наблюдаемую обратную связь.

Научно-технический результат состоит в представлении разных экспериментальных мультимедийных сценариев как частных реализаций единого вычислительного контура. Это обеспечивает воспроизводимость обработки, переносимость между конфигурациями оборудования и сопоставимость результатов в интерактивном и постэкспериментальном режимах. Практическая значимость работы связана с применимостью архитектуры при разработке программно-аппаратных комплексов анализа функционального состояния пользователя, экспериментальных *VR*- и мультимедийных сред, визуализаций биомедицинских данных и протоколов обработки многоканальных записей.

Литература

1. Renard, Y. OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test, and Use Brain-Computer Interfaces in Real and Virtual Environments / Y. Renard, F. Lotte, G. Gibert, M. Congedo, E. Maby, V. Delannoy, O. Bertrand, A. Lécuyer // *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. – 2010. – Vol. 19. – No. 1. – P. 35–53. – DOI: 10.1162/pres.19.1.35.
2. Delorme, A. EEGLAB: An Open-Source Toolbox for Analysis of Single-Trial EEG Dynamics Including Independent Component Analysis / A. Delorme, S. Makeig // *Journal of Neuroscience Methods*. – 2004. – Vol. 134. – No. 1. – P. 9–21. – DOI: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009.
3. Gramfort, A. MEG and EEG data analysis with MNE-Python / A. Gramfort // *Frontiers in Neuroscience*. – 2013. – Vol. 7. – DOI: 10.3389/fnins.2013.00267.
4. O'Donoghue S.I. Visualization of Biomedical Data / S.I. O'Donoghue, B.F. Baldi, S.J. Clark, A.E. Darling, J.M. Hogan, S. Kaur, L. Maier-Hein, D.J. McCarthy, W.J. Moore, E. Stenau, J.R. Swedlow, J. Vuong, J.B. Procter // *Annual Review of Biomedical Data Science*. – 2018. – Vol. 1. – No. 1. – P. 275–304. – DOI: 10.1146/annurev-biodatasci-080917-013424.
5. Anderson, E.W. A User Study of Visualization Effectiveness Using EEG and Cognitive Load / E.W. Anderson, K.C. Potter, L.E. Matzen, J.F.G. Shepherd, A. Preston, C.T. Silva // *Computer Graphics*

Forum. – 2011. – Vol. 30. – No. 3. – P. 791–800. – DOI: 10.1111/j.1467-8659.2011.01928.x.

6. Antonenko, P. Using Electroencephalography to Measure Cognitive Load / P. Antonenko, F. Paas, R. Grabner, T. van Gog // *Educational Psychology Review*. – 2010. – Vol. 22. – No. 4. – P. 425–438. – DOI: 10.1007/s10648-010-9130-y. – EDN: MXRHHP.

7. Pfurtscheller, G. Event-Related Cortical Desynchronization Detected by Power Measurements of Scalp EEG / G. Pfurtscheller, A. Aranibar // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. – 1977. – Vol. 42. – No. 6. – P. 817–826. – DOI: 10.1016/0013-4694(77)90235-8.

8. Pfurtscheller, G. Event-related EEG/MEG Synchronization and Desynchronization: Basic Principles / G. Pfurtscheller, F.L. da Silva // *Clinical Neurophysiology*. – 1999. – Vol. 110. – No. 11. – P. 1842–1857. – DOI: 10.1016/s1388-2457(99)00141-8. – EDN: LNSKWP.

9. Klimesch, W. EEG Alpha and Theta Oscillations Reflect Cognitive and Memory Performance: A Review and Analysis / W. Klimesch // *Brain Research Reviews*. – 1999. – Vol. 29. – No. 2-3. – P. 169–195. – DOI: 10.1016/s0165-0173(98)00056-3. – EDN: YCBMEO.

10. Jap, B.T. Using EEG Spectral Components to Assess Algorithms for Detecting Fatigue / B.T. Jap, S. Lal, P. Fischer, E. Bekiaris // *Expert Systems with Applications*. – 2009. – Vol. 36. – No. 2. – P. 2352–2359. – DOI: 10.1016/j.eswa.2007.12.043.

11. Urigüen, J.A. EEG Artifact Removal: State-of-the-art and Guidelines / J.A. Urigüen, B. Garcia-Zapirain // *Journal of Neural Engineering*. – 2015. – Vol. 12. – No. 3. – P. 031001. – DOI: 10.1088/1741-2560/12/3/031001.

12. Delorme, A. Enhanced Detection of Artifacts in EEG Data Using Higher-Order Statistics and Independent Component Analysis / A. Delorme, T. Sejnowski, S. Makeig // *NeuroImage*. – 2007. – Vol. 34. – No. 4. – P. 1443–1449. – DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.11.004.

13. Barlow, J.S. Methods of Analysis of Nonstationary EEGs, with Emphasis on Segmentation Techniques / J.S. Barlow // *Journal of Clinical Neurophysiology*. – 1985. – Vol. 2. – No. 3. – P. 267–304. – DOI: 10.1097/00004691-198507000-00005.

14. Radüntz, T. Signal Quality Evaluation of Emerging EEG Devices / T. Radüntz // *Frontiers in Physiology*. – 2018. – Vol. 9. – P. 98. – DOI: 10.3389/fphys.2018.00098.

15. Mullen, T. Real-Time Modeling and 3D Visualization of Source Dynamics and Connectivity Using Wearable EEG / T. Mullen, C. Kothe, Y.M. Chi, A. Ojeda, T. Kerth, S. Makeig, G. Cauwenberghs, T.-P. Jung // *2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2013. – P. 2184–2187. – DOI: 10.1109/embc.2013.6609968.

16. Gramann, K. Imaging Natural Cognition in Action / K. Gramann, D.P. Ferris, J. Gwin, S. Makeig // *International Journal of Psychophysiology*. – 2014. – Vol. 91. – No. 1. – P. 22–29. – DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2013.09.003.

17. Jungnickel, E. Mobile Brain/Body Imaging (MoBI) of Physical Interaction with Dynamically Moving Objects / E. Jungnickel, K. Gramann // *Frontiers in Human Neuroscience*. – 2016. – Vol. 10. – DOI: 10.3389/fnhum.2016.00306.

18. Hairston, W.D. Usability of Four Commercially-Oriented EEG Systems / W.D. Hairston, K.W. Whitaker, A.J. Ries, J.M. Vettel, J.C. Bradford, S.E. Kerick, K. McDowell // *Journal of Neural Engineering*. – 2014. – Vol. 11. – No. 4. – P. 046018. – DOI: 10.1088/1741-2560/11/4/046018.

19. Guger, C. Comparison of Dry and Gel Based Electrodes for P300 Brain-Computer Interfaces / C. Guger, G. Krausz, B.Z. Allison, G. Edlinger // *Frontiers in Neuroscience*. – 2012. – Vol. 6. – DOI: 10.3389/fnins.2012.00060.

20. Acabchuk, R.L. Measuring Meditation Progress with a Consumer-Grade EEG Device: Caution from a Randomized Controlled Trial / R.L. Acabchuk, M.A. Simon, S. Low, J.M. Brisson, B.T. Johnson // *Mindfulness*. – 2021. – Vol. 12. – No. 1. – P. 68–81. – DOI: 10.1007/s12671-020-01497-1. – EDN: XSCJJO.

21. Саранин, Д.С. Применение нейроинтерфейса в анализе влияния формы звуковой волны на эмоциональное состояние человека / Д.С. Саранин, Е.С. Лукута, Д.А. Никулин, А.А. Гарифуллин // *Перспективы науки*. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 7(190). – EDN: PUAKSD.

22. Гостищев, П.А. Применение нейроинтерфейса для анализа эмоционального отклика на визуально-тактильную репрезентацию звукового опыта при нарушениях слуха / П.А. Гостищев, Е.С. Лукута, Д.А. Никулин, А.А. Гарифуллин // *Перспективы науки*. – Тамбов : НТФ РИМ. –

References

21. Saranin, D.S. Primenenie nejrointerfejsa v analize vliyaniya formy zvukovoj volny na emotsionalnoe sostoyanie cheloveka / D.S. Saranin, E.S. Lukuta, D.A. Nikulin, A.A. Garifullin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 7(190). – EDN: PUAKSD.

22. Gostishchev, P.A. Primenenie nejrointerfejsa dlya analiza emotsionalnogo otklika na vizualno-taktilnuyu reprezentatsiyu zvukovogo opyta pri narusheniyakh slukha / P.A. Gostishchev, E.S. Lukuta, D.A. Nikulin, A.A. Garifullin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 8(191). – EDN: KKEZUM.

© Е.С. Лукута, А.О. Аристов, А.Л. Лукута, 2026

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА В АНАЛИЗЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ В ИММЕРСИВНОЙ ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

Е.С. ЛУКУТА, А.О. АРИСТОВ, М.С. ПШЕНИЧНОВ, Д.С. ГРИБАНОВ, А.Л. ЛУКУТА

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

Ключевые слова и фразы: *Neiry*; нейроинтерфейс; иммерсивная цифровая среда; эмоциональная регуляция; дыхательное упражнение; ЭЭГ; фазовая сегментация; событийная разметка; внимание; расслабленность.

Аннотация: В работе рассматривается применение портативного нейроинтерфейса и вычислительного контура обработки данных для регистрации, событийной синхронизации, фазовой сегментации и визуализации нейрометрик в экспериментальном сценарии эмоциональной регуляции. Цель исследования заключается в оценке применимости иммерсивной цифровой среды с визуальной поддержкой дыхательного упражнения «4–7–8» для анализа кратковременных изменений показателей внимания и расслабленности. Задачи исследования включают разработку экспериментального сценария, регистрацию данных нейроинтерфейса, разметку фаз сеанса, расчет описательных статистик по фазам и сопоставление нейрометрик с субъективными оценками участников. Гипотеза пилотного исследования состоит в том, что выполнение дыхательного упражнения в иммерсивной цифровой среде сопровождается направленным изменением метрик *Attention* и *Relaxation*, фиксируемым в рамках воспроизводимого вычислительного контура.

Методы исследования включают внутригрупповой пилотный эксперимент с участием 15 респондентов, регистрацию данных с использованием нейроинтерфейса *Neiry* и программного обеспечения *Capsule Data v2*, событийную разметку сессии, фазовую сегментацию, расчет описательных статистик интегральных метрик и сопоставление результатов с данными самооценки до и после сеанса. В вычислительном контуре экспериментальная сессия представляется как последовательность настраиваемых фаз *phase_01–phase_04*: исходный этап, этап свободного взаимодействия, активный этап дыхательного упражнения и завершающий этап.

Полученные результаты показывают направленное изменение метрик *Attention* и *Relaxation* в ходе сеанса и согласуются с данными самооценки участников. Достигнутый результат состоит в подтверждении применимости контура регистрации, фазовой сегментации и визуального анализа данных для исследования кратковременных изменений функционального состояния пользователя в иммерсивной среде. Работа не оценивает клиническую эффективность вмешательства и рассматривает предложенный сценарий как инженерно-исследовательскую апробацию вычислительной схемы обработки нейрометрик.

Цифровые технологии все чаще используются в задачах саморегуляции, снижения напряжения и поддержки психоэмоционального состояния. Особый интерес представляют иммерсивные среды, поскольку они позволяют объединять визуальные стимулы, управляемое взаимодействие и физиологическую обратную

связь в едином сценарии. Для технических исследований такого типа важна не только оценка субъективного эффекта, но и воспроизводимая регистрация данных, синхронизация событий и последующая обработка временных рядов.

Дыхательные упражнения относятся к доступным методам регуляции состояния. Иссле-

дования структурированных дыхательных практик показывают, что такие протоколы могут сопровождаться улучшением настроения и снижением физиологического возбуждения [1–4]. При этом интеграция дыхательного упражнения в виртуальную или иммерсивную среду требует отдельной проверки, поскольку эффект зависит от сценария, визуальной обратной связи, соблюдения ритма дыхания и качества регистрации данных.

В настоящей работе рассматривается пилотный эксперимент, в котором дыхательная техника «4–7–8» реализована в иммерсивной цифровой среде, а состояние пользователя оценивается по интегральным метрикам нейроинтерфейса *Neiry*. Основное внимание уделяется вычислительной организации эксперимента: регистрации исходных записей, событийной разметке этапов, преобразованию данных в формат, пригодный для последующего анализа, фазовой сегментации и визуализации динамики метрик.

Исследования дыхательных практик показывают, что кратковременное структурированное дыхание может снижать физиологическое возбуждение и улучшать показатели настроения [1]. Систематические обзоры медленного дыхания связывают наблюдаемые эффекты с автономной регуляцией, изменением дыхательного ритма, вариабельностью сердечного ритма и механизмами interoцептивного контроля [2; 3]. Метаанализ дыхательных интервенций также указывает на потенциальное снижение субъективного стресса, хотя выраженность эффекта зависит от протокола и качества исследования [4].

Виртуальная реальность и иммерсивные среды рассматриваются как инструменты формирования контролируемых мультимодальных сценариев, направленных на снижение уровня психоэмоционального напряжения и поддержку дыхательных практик. В исследованиях по применению виртуальной реальности для ментальной релаксации отмечается перспективность таких сред, однако подчеркивается необходимость осторожной интерпретации результатов и разграничения пилотных экспериментов и клинически подтвержденных вмешательств [5]. В ряде исследований, посвященных *VR*-дыхательным практикам, отмечается потенциал виртуальной реальности как средства повышения вовлеченности и удержания внимания пользователя в процессе выполнения упражне-

ний. Однако существующая доказательная база пока недостаточна для вывода о статистически подтвержденном превосходстве *VR*-подходов над аналогичными практиками без применения иммерсивных технологий [6; 7].

Нейроинтерфейсы и *EEG-neurofeedback* применяются для мониторинга внимания, ослабленности и когнитивного состояния. При этом перенос таких решений из лаборатории в пользовательские или выставочные условия требует учета качества сигнала, устойчивости сухих электродов, артефактов движения и ограниченности встроенных интегральных метрик [8–11]. Поэтому в данной работе метрики *Attention* и *Relaxation* рассматриваются как исследовательские показатели динамики состояния, а не как клинические диагностические признаки. С точки зрения системного анализа важна не только регистрация сигнала, но и воспроизводимый вычислительный контур: хранение исходной записи, событийная синхронизация, фазовая сегментация, расчет признаков и визуализация результатов. В рассматриваемом эксперименте этот контур связывает протокол сеанса, запись нейрометрических данных, преобразование форматов, таблицы метрик и графическое представление результатов. Ранее близкие прикладные сценарии использования нейроинтерфейса в мультимедийной среде были рассмотрены при анализе влияния формы звуковой волны на состояние пользователя и при исследовании визуально-тактильной репрезентации звукового опыта [13; 14].

Исследование выполнено как пилотный эксперимент с внутригрупповым планом. Каждый участник проходил сеанс, включающий подготовку, исходный этап регистрации, взаимодействие с иммерсивной средой, выполнение дыхательного упражнения и завершающий этап. Такой дизайн позволяет сопоставлять изменения метрик внутри одной сессии и снижает влияние межиндивидуальных различий исходного уровня.

В эксперименте приняли участие 15 респондентов. Критерием включения являлось отсутствие диагностированных неврологических и психических заболеваний, способных повлиять на регистрацию ЭЭГ-сигнала или выполнение дыхательных практик. Участники были ознакомлены с процедурой исследования, заполнили форму согласия и опросные формы до и после сеанса. Данные анализировались в обезличенном виде.

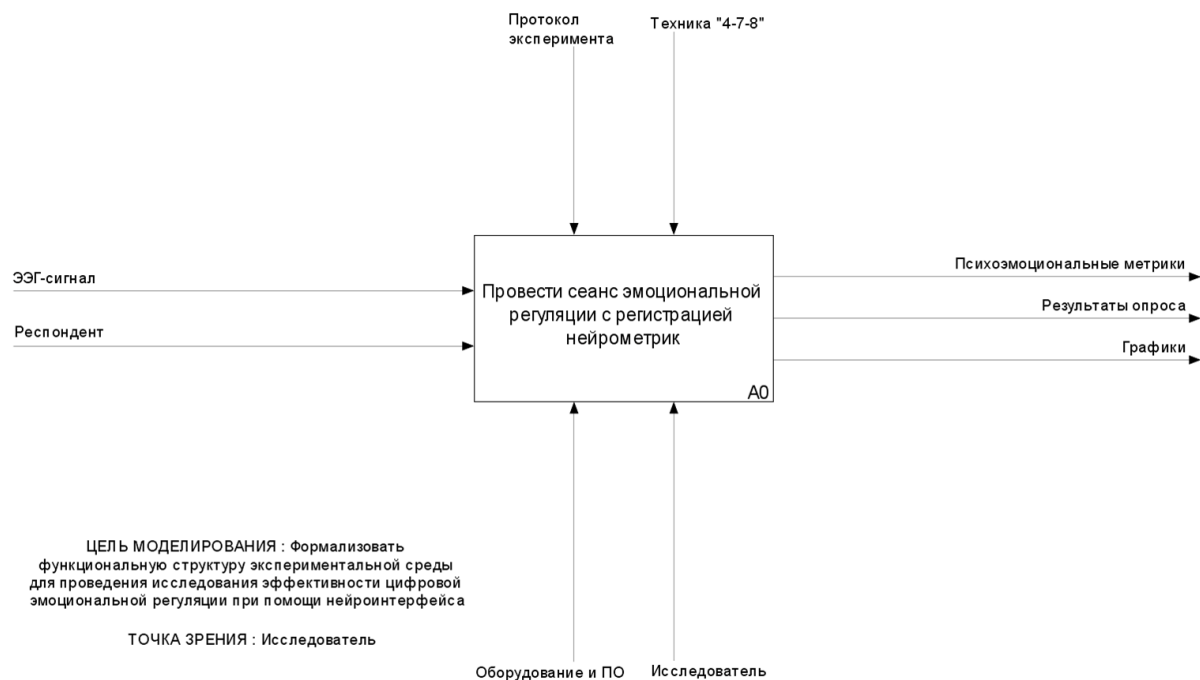


Рис. 1. Контекстная модель процесса проведения сеанса эмоциональной регуляции с регистрацией нейрометрик

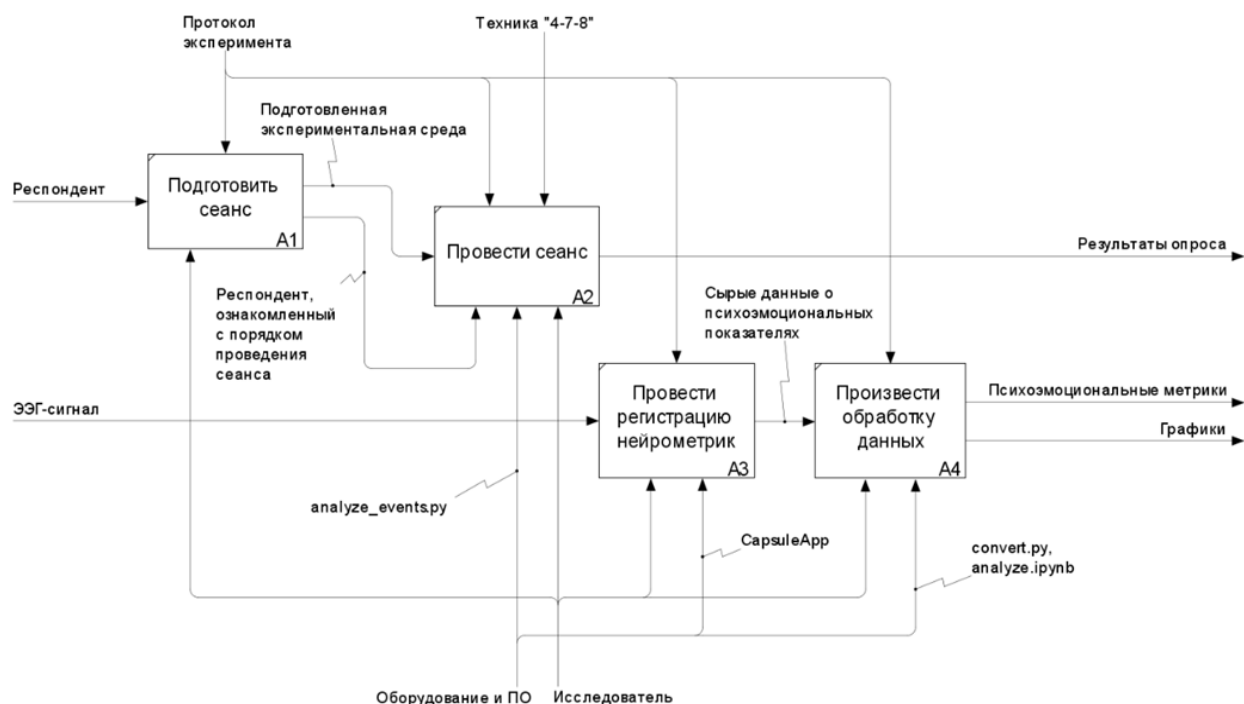


Рис. 2. Декомпозиция процесса проведения сеанса: подготовка, проведение, регистрация нейрометрик и обработка данных

Экспериментальный стенд включал два персональных компьютера. Первый использовался респондентом для взаимодействия с им-

мерсивной средой и выполнения дыхательного упражнения. Вторым находился у исследователя и использовался для регистрации данных, фик-

Таблица 1. Фазовая структура экспериментального сеанса

Код фазы	Рабочая метка	Содержание этапа
phase_01	исходный этап	бодрствование перед взаимодействием
phase_02	этап осмотра	взаимодействие со средой без упражнения
phase_03	активный этап	выполнение дыхательного упражнения
phase_04	завершающий этап	бодрствование после активного этапа

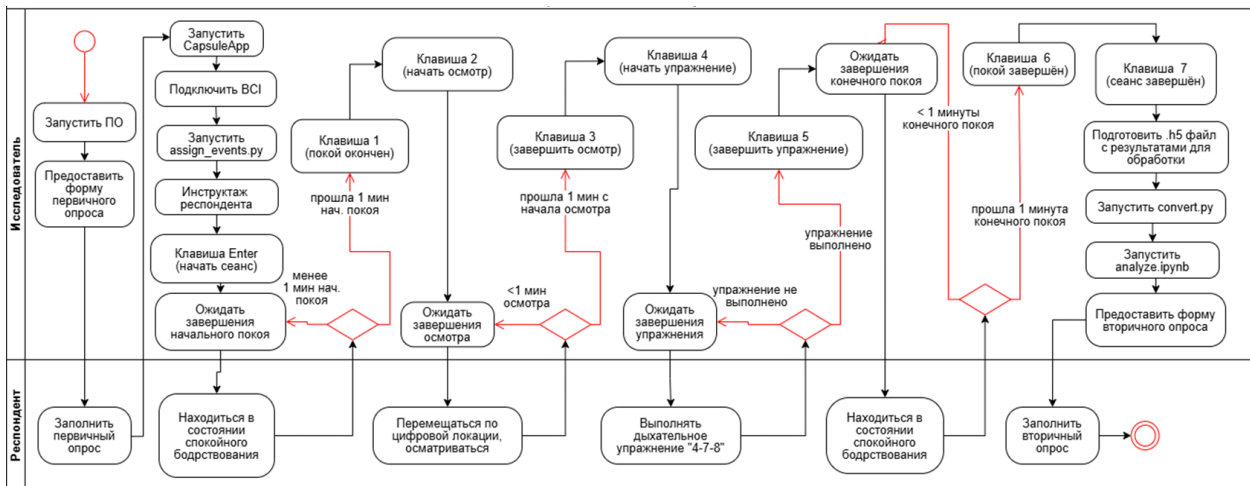


Рис. 3. Схема процедуры проведения эксперимента с нейроинтерфейсом Neiry

сации событий и последующей обработки. Сбор данных осуществлялся в *Capsule Data v2*, событийная разметка выполнялась отдельным модулем, а последующая обработка включала преобразование исходной записи в аналитический формат и расчет показателей по фазам.

Для регистрации применялся нейроинтерфейс *Neiry*. В ходе сеанса фиксировались интегральные метрики *Attention* и *Relaxation*, а также служебные данные, необходимые для последующей обработки. В данной статье эти показатели используются как производные исследовательские метрики устройства; работа не делает выводов о клинической диагностике или медицинской эффективности.

Функциональная архитектура экспериментальной среды описана в нотации *IDEF0* [12] и представлена на рис. 1.

На рис. 2 приведена диаграмма декомпозиции верхнего уровня модели, в которой выделены основные этапы экспериментального процесса: подготовка тестового сеанса, проведение сеанса в иммерсивной среде, регистрация нейрометрик и последующая обработка данных.

Такое представление позволяет рассматривать эксперимент не только как пользовательский сценарий, но и как воспроизводимый вычислительный процесс с заданными входами, управляющими воздействиями, механизмами и выходными данными.

Иммерсивная среда представляла собой трехмерное пространство природного ландшафта. Дыхательное упражнение было построено на технике «4–7–8»: вдох в течение 4 секунд, задержка дыхания на 7 секунд и выдох в течение 8 секунд. Визуальная обратная связь задавала ритм выполнения упражнения и позволяла респонденту удерживать последовательность фаз дыхательного цикла. Для обработки данных сессия разделяется на фазы, представленные в табл. 1.

В экспериментальном протоколе смена этапов фиксировалась исследователем с помощью горячих клавиш. В вычислительном контуре обработки эти события рассматриваются как границы фаз *phase_01–phase_04*.

После завершения сессии запись *Capsule Data v2* преобразовывалась в *BDF*-файл, а файл

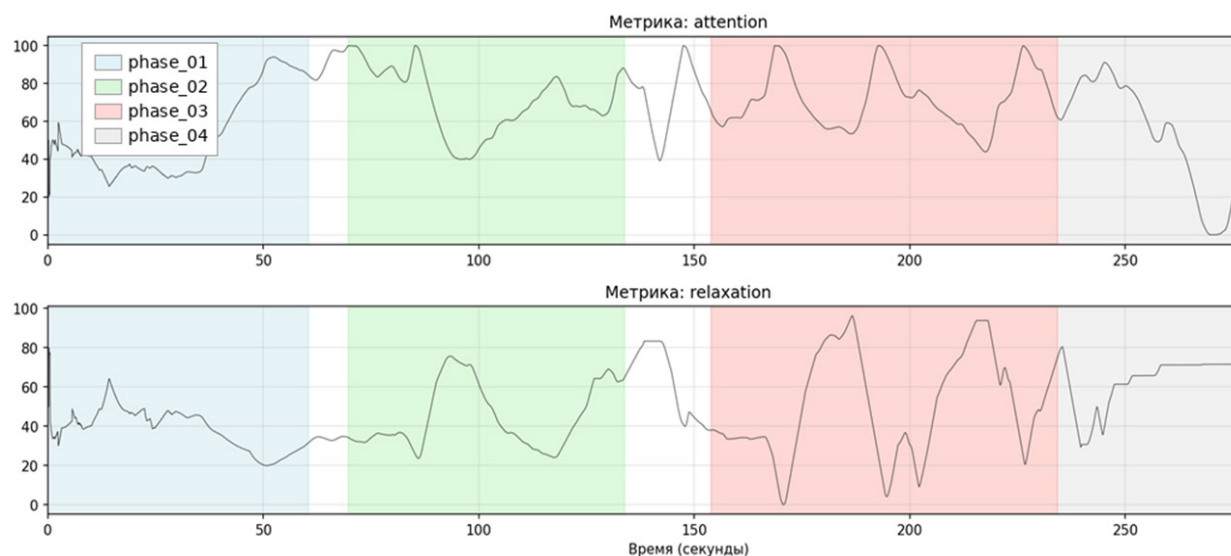


Рис. 4. Динамика метрик *Attention* и *Relaxation* в ходе сеанса с фазовой разметкой *phase_01–phase_04*

событий использовался для фазовой сегментации временного ряда. Для каждой фазы рассчитывались описательные статистики *Attention* и *Relaxation*. Дополнительно строились графики динамики метрик, сглаженной динамики и сравнительные представления по фазам.

В результате обработки были получены временные ряды метрик *Attention* и *Relaxation*, сегментированные по фазам *phase_01–phase_04*. Пример такой визуализации представлен на рис. 4. Цветовые области соответствуют фазам сеанса и позволяют сопоставить изменение метрик с этапами протокола эксперимента. На уровне пилотной выборки наблюдалась направленность изменений, соответствующая ожидаемой логике протокола: на этапе осмотра возростала вовлеченность в визуальную среду, а на активном и завершающем этапах отмечался сдвиг профиля в сторону большей расслабленности. При этом значения *Attention* демонстрировали более выраженную индивидуальную вариативность, что соответствует различиям в стратегиях внимания и реакции на иммерсивную среду.

Субъективные оценки до и после сеанса использовались как дополнительный слой валидации. Опрос включал шкалы напряжения, беспокойства, усталости, трудности концентрации, хаотичности мыслей, раздражения, спокойствия и умиротворения. Сводное представление ответов показало снижение оценок по негативным состояниям и рост оценок по шкалам спокойствия и умиротворения после сеанса.

Сопоставление нейрометрик и опросных данных указывает на согласованную направленность изменений, однако результаты следует трактовать как пилотные. В работе не выполнялась клиническая валидация, не заявляется терапевтический эффект и не утверждается статистическая значимость без дополнительной проверки. Тем самым показана воспроизводимость контура сбора, синхронизации, фазовой сегментации и визуализации данных в пилотном сценарии эмоциональной регуляции.

Полученные результаты показывают, что вычислительный контур обработки данных может использоваться как инфраструктура анализа экспериментальных сессий эмоциональной регуляции. По сравнению с ручным описанием сеанса такой контур обеспечивает трассируемость: запись *Capsule Data v2* связывается с файлом событий, аналитическим представлением данных, фазовой структурой, таблицами метрик и графическими артефактами.

Использование фаз *phase_01–phase_04* позволяет отделить модель обработки данных от конкретного содержания сценария. В одном эксперименте *phase_03* может соответствовать дыхательному упражнению, в другом – когнитивной задаче, аудиовизуальному стимулу или интерактивному действию.

Сильной стороной исследования является совмещение трех уровней данных: протокольной разметки, объективных нейрометрик и субъективных самооценок. Это позволяет рассматривать эксперимент как проверку вы-

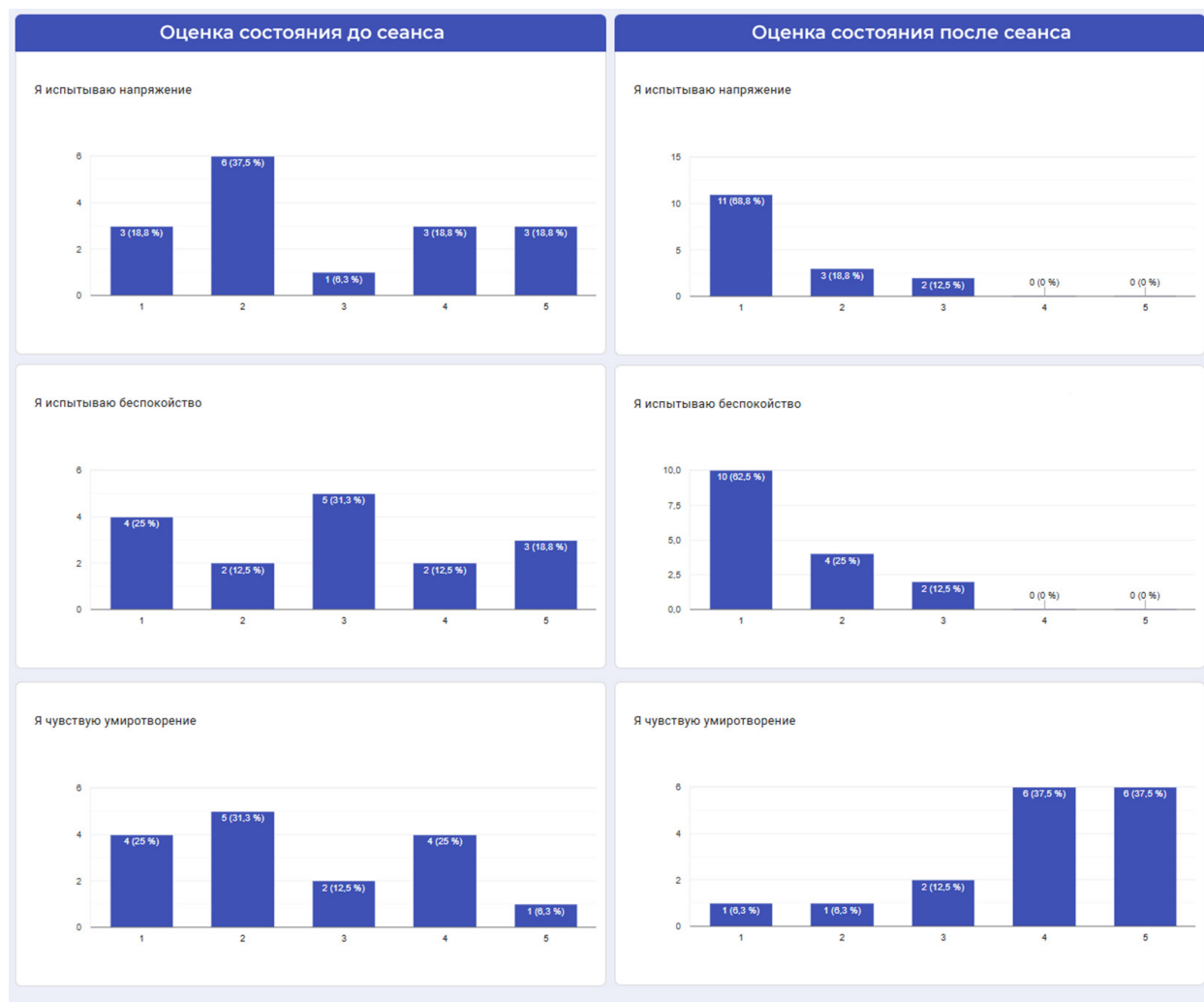


Рис. 5. Распределение субъективных оценок состояния респондентов до и после сеанса по шкале от 1 до 5

числительного контура анализа состояния пользователя в иммерсивной среде. В то же время встроенные метрики нейроинтерфейса *Neiry* имеют ограничения: они являются производными показателями устройства, их алгоритмическая природа не полностью раскрыта, а интерпретация требует осторожности.

Ограничения исследования связаны с пилотным объемом выборки, отсутствием независимой контрольной группы, краткой длительностью протокола и использованием интегральных метрик устройства. В дальнейшем целесообразно расширить выборку, добавить повторные сеансы, включить дополнительные физиологические сигналы и формализовать статистический анализ различий между фазами.

В статье рассмотрен пилотный сценарий эмоциональной регуляции в иммерсивной циф-

ровой среде с регистрацией данных нейроинтерфейса *Neiry* и последующей обработкой в воспроизводимом вычислительном контуре. Основной вклад работы состоит в демонстрации последовательного процесса: регистрация сессии, событийная разметка, преобразование исходной записи в аналитический формат, фазовая сегментация, расчет метрик *Attention* и *Relaxation*, визуализация и сопоставление с субъективными оценками.

Использование фазовой модели сеанса позволяет разделить запись на сопоставимые этапы и применять одну схему обработки к различным экспериментальным сценариям анализа функционального состояния пользователя. Полученные результаты подтверждают применимость предложенного подхода для исследовательской оценки кратковременных изменений

состояния в иммерсивной среде, однако требуют дальнейшей проверки на расширенной выборке и с использованием дополнительных методов статистического анализа.

Литература

1. Balban, M.Y. Brief Structured Respiration Practices Enhance Mood and Reduce Physiological Arousal / M.Y. Balban, E. Neri, M.M. Kogon, L. Weed, B. Nouriani, B. Jo, G. Holl, J.M. Zeitzer, D. Spiegel, A.D. Huberman // *Cell Reports Medicine*. – 2023. – Vol. 4. – No. 1. – Article 100895 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9873947/>. – DOI: 10.1016/j.xcrm.2022.100895. – EDN: VRJNAX.
2. Russo, M.A. The Physiological Effects of Slow Breathing in the Healthy Human / M.A. Russo, D.M. Santarelli, D. O'Rourke // *Breathe*. – 2017. – Vol. 13. – No. 4. – P. 298–309. – DOI: 10.1183/20734735.009817 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5709795>.
3. Zaccaro, A. How Breath-Control Can Change Your Life: A Systematic Review on Psychophysiological Correlates of Slow Breathing / A. Zaccaro, A. Piarulli, M. Laurino, E. Garbella, D. Menicucci, B. Neri, A. Gemignani // *Frontiers in Human Neuroscience*. – 2018. – Vol. 12. – Article 353 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6137615>. – DOI: 10.3389/fnhum.2018.00353. – EDN: ZCYXPR.
4. Fincham, G.W. Effect of Breathwork on Stress and Mental Health: A Meta-Analysis of Randomised-Controlled Trials / G.W. Fincham, C. Strauss, J. Montero-Marin, K. Cavanagh // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13. – Article 432 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9828383>. – DOI: 10.1038/s41598-022-27247-y. – EDN: XHJXLD.
5. Riches, S. Virtual Reality Relaxation for the General Population: A Systematic Review / S. Riches, L. Azevedo, L. Bird, S. Pisani, L. Valmaggia // *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*. – 2021. – Vol. 56. – P. 1707–1727 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8197783>. – DOI: 10.1007/s00127-021-02110-z. – EDN: SEUDYO.
6. Cortez-Vázquez, G. Virtual Reality Breathing Interventions for Mental Health: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials / G. Cortez-Vázquez, M. Adriaanse, G.L. Burchell, R. Ostelo, G. Panayiotou, E. Vlemingx // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. – 2024. – Vol. 49. – P. 1–21 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10869395>. – DOI: 10.1007/s10484-023-09611-4. – EDN: BDDGAM.
7. Tinga, A.M. Respiratory Biofeedback Does Not Facilitate Lowering Arousal in Meditation Through Virtual Reality / A.M. Tinga, I. Nyklíček, M.P. Jansen, T.T. de Back, M.M. Louwerse // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. – 2019. – Vol. 44. – P. 51–59 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6373281>. – DOI: 10.1007/s10484-018-9421-5. – EDN: OVAQJL
8. Kleeva, D. Resting-State EEG Recorded with Gel-Based vs. Consumer Dry Electrodes: Spectral Characteristics and Across-device Correlations / D. Kleeva, I. Ninenko, M.A. Lebedev // *Frontiers in Neuroscience*. – 2024. – Vol. 18. – Article 1326139 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.frontiersin.org/articles/full>. – DOI: 10.3389/fnins.2024.1326139. – EDN: HJOENA.
9. Lopez-Gordo, M.A. Dry EEG Electrodes / M.A. Lopez-Gordo, D. Sanchez Morillo, F. Pelayo Valle // *Sensors*. – 2014. – Vol. 14. – No. 7. – P. 12847–12870 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4168519>. – DOI: 10.3390/s140712847.
10. Omejc, N. Review of the Therapeutic Neurofeedback Method Using Electroencephalography: EEG Neurofeedback / N. Omejc, B. Rojc, P.P. Battaglini, U. Marusic // *Bosnian Journal of Basic Medical Sciences*. – 2019. – Vol. 19. – No. 3. – P. 213–220 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6716090>. – DOI: 10.17305/bjbms.2018.3785.
11. Wang, B. EEG-Based Closed-Loop Neurofeedback for Attention Monitoring and Training in Young Adults / B. Wang, J. Pan, Z. Xu, T. Luo // *Journal of Healthcare Engineering*. – 2021. – Article 5535810 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8219410>. DOI: 10.1155/2021/5535810. – EDN: PDDCOE.
12. National Institute of Standards and Technology. Integration Definition for Function Modeling

(IDEF0): Federal Information Processing Standards Publication 183. – Gaithersburg : NIST, 1993 [Electronic resource]. – Access mode : <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/FIPS/fipspub183.pdf>.

21. Саранин, Д.С. Применение нейроинтерфейса в анализе влияния формы звуковой волны на эмоциональное состояние человека / Д.С. Саранин, Е.С. Лукута, Д.А. Никулин, А.А. Гарифуллин // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 7(190). – EDN: PUAKSD.

22. Гостищев, П.А. Применение нейроинтерфейса для анализа эмоционального отклика на визуально-тактильную репрезентацию звукового опыта при нарушениях слуха / П.А. Гостищев, Е.С. Лукута, Д.А. Никулин, А.А. Гарифуллин // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 8(191). – EDN: KKEZUM.

References

21. Saranin, D.S. Primenenie nejrointerfejsa v analize vliyaniya formy zvukovoj volny na emotsionalnoe sostoyanie cheloveka / D.S. Saranin, E.S. Lukuta, D.A. Nikulin, A.A. Garifullin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 7(190). – EDN: PUAKSD.

22. Gostishchev, P.A. Primenenie nejrointerfejsa dlya analiza emotsionalnogo otklika na vizualno-taktilnuyu reprezentatsiyu zvukovogo opyta pri narusheniyakh slukha / P.A. Gostishchev, E.S. Lukuta, D.A. Nikulin, A.A. Garifullin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 8(191). – EDN: KKEZUM.

© Е.С. Лукута, А.О. Аристов, М.С. Пшеничников, Д.С. Грибанов, А.Л. Лукута, 2026

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ СЕРВЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО АНСАМБЛИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ SARIMA И LSTM

К.В. МАКАРЕНКО, О.А. ПОПОВА, Б.С. ДОБРОНЕЦ

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
г. Красноярск

Ключевые слова и фразы: прогнозирование; серверное оборудование; деградация оборудования; временные ряды; эксплуатационные метрики.

Аннотация: Цель исследования состоит в разработке адаптивной гибридной модели прогнозирования деградации серверного оборудования по временным рядам эксплуатационной телеметрии. Задачи исследования включали выбор риск-формирующих метрик, предобработку данных, построение моделей *SARIMA* и *LSTM*, их адаптивное ансамблирование и оценку точности прогноза. Гипотеза состояла в том, что адаптивное объединение *SARIMA* и *LSTM* снижает ошибку прогнозирования за счет учета сезонности и нелинейной динамики временных рядов. Использованы методы анализа временных рядов, *SARIMA*, *LSTM*, адаптивного взвешивания моделей, а также метрики *MAE* и *RMSE*. По результатам эксперимента на данных мониторинга сервера ансамблевая модель показала наименьшую ошибку для загрузки *CPU* и температуры системы на горизонте 30 суток, что подтверждает возможность ее применения для оценки состояния оборудования и риска отказа.

Введение

Современная серверная инфраструктура характеризуется высокой плотностью сервисов и жесткими требованиями к непрерывности работы. В этих условиях для ИТ-службы особую значимость приобретает переход от реактивного мониторинга к упреждающему анализу, основанному на прогнозировании поведения эксплуатационных метрик во времени [6].

Традиционные системы мониторинга в основном опираются на статические пороговые правила. Такой подход удобен для оперативного оповещения, однако он плохо работает в ситуациях, когда опасность определяется не только текущим уровнем метрики, но и направлением ее изменения. В результате одинаковое пороговое правило не различает кратковременный штатный пик и устойчивое движение к предаварийному режиму.

В работе рассматривается задача краткосрочного и среднесрочного прогнозирования серверной телеметрии. Прогноз строится не для

интегрального состояния системы в целом, а отдельно для каждой метрики, после чего результаты используются в последующих модулях оценки состояния, риска отказа и поддержки принятия решений. Такой подход позволяет сохранить физический смысл каждой переменной и избежать некорректного смешивания рядов с разными единицами измерения.

Целью статьи является решение проблемы прогнозирования деградационных процессов серверного оборудования путем разработки и реализации адаптивной гибридной модели прогнозирования, обеспечивающей практическое использование результатов в системе мониторинга на горизонтах 24 ч, 7 сут и 30 сут.

В работах Б.С. Добронца и О.А. Поповой подчеркивается, что исследование сложных систем связано с обработкой данных, характеризующихся неоднородностью, динамичностью и неопределенностью, а потому надежность моделирования во многом определяется корректностью их представления и предварительной обработки. В этой связи эксплуатационные по-

Таблица 1. Временные ряды эксплуатационных метрик

Значение	Ед. изм.	Описание
<i>cpu_load_total</i>	%	Общая загрузка центрального процессора
<i>mem_usage_percent</i>	%	Загрузка оперативной памяти
<i>net_bytes_recv</i>	KB/s	Кол-во полученных пакетов в сети
<i>net_bytes_sent</i>	KB/s	Кол-во отправленных пакетов в сети
<i>ping_latency_gateway</i>	ms	Задержка сети до шлюза
<i>system_temperature</i>	°C	Температура системы
<i>storcli_drive_temperature</i>	°C	Температура RAID-массива
<i>storcli_predictive_failure_count</i>	0–1	Наличие системных ошибок в RAID-массиве

казатели серверного оборудования целесообразно рассматривать как самостоятельные временные ряды, для которых выбор способа анализа и прогноза должен определяться особенностями конкретной метрики и характером ее изменения во времени [1; 2].

Для метрик, обладающих строгой циклическостью, используется сезонная интегрированная модель авторегрессии и скользящего среднего $SARIMA(p, d, q) \times (P, D, Q)_s$ [4; 6]. Она позволяет описывать сезонный профиль нагрузки и переносить его на будущие интервалы при умеренных вычислительных затратах. Математически модель задается следующим выражением:

$$\Phi(B^s)\phi(B)(1-B)^d(1-B^s)^D X_t = \Theta(B^s)\theta(B)\varepsilon_t,$$

где X_t – текущее значение метрики; B – оператор обратного сдвига; s – период сезонности; ϕ и θ – полиномы авторегрессии и скользящего среднего; d и D – порядки обычного и сезонного интегрирования; ε_t – белый шум [1].

Для метрик, в которых одновременно проявляются сезонность, локальный тренд и нелинейные зависимости, применяется нейросетевая модель типа *Long Short-Term Memory (LSTM)* [5].

Архитектура ячейки *LSTM* решает проблему затухающего градиента за счет системы вентилей, что позволяет модели учитывать как краткосрочные, так и долгосрочные зависимости. В работе используется стандартное представление ячейки *LSTM* в виде следующих уравнений [5]:

$$\begin{aligned} f_t &= \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f), i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i), \\ \tilde{C}_t &= \tanh(W_C[h_{t-1}, x_t] + b_C), \\ C_t &= f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot \tilde{C}_t, \\ o_t &= \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o), h_t = o_t \odot \tanh(C_t). \end{aligned}$$

Итоговый прогноз на горизонт h формируется как взвешенная комбинация статистической и нейросетевой моделей [3; 8; 9]:

$$\hat{X}_{t+h} = \alpha \hat{X}_{t+h}^{SARIMA} + (1 - \alpha) \hat{X}_{t+h}^{LSTM}.$$

Коэффициент α пересчитывается на каждом временном окне на основе исторического качества моделей: чем меньше ошибка модели на валидационной выборке, тем больший вес она получает в ансамбле. За счет этого статистическая ветвь доминирует на выражено сезонных рядах, а нейросетевая – на рядах со сложной нелинейной динамикой [3; 8; 9].

Предобработка данных

Перед началом использования временных рядов определены собираемые эксплуатационные метрики в системе и обработаны в числовой вид. Входными данными являются временные ряды эксплуатационных метрик сервера *DEMO-SERVER-001*, представленные в табл. 1.

Исходный набор содержит 232 704 сырых наблюдения за период с 01.09.2024 по 30.06.2025, что соответствует 29 088 значениям на каждую из восьми метрик. Сбор выполнялся с дискретностью 15 мин., а для построения прогноза ряды агрегировались до шага 1 ч. Такое



Рис. 1. Результаты прогнозирования загрузки CPU и температуры системы

представление позволило сопоставлять прогнозы разных моделей на общих временных баках и обеспечить воспроизводимую процедуру оценки качества.

Результаты прогнозирования

Ниже приведены результаты прогнозирования для двух риск-формирующих метрик (рис. 1), непосредственно влияющих на последующую оценку состояния оборудования: загрузки CPU и температуры системы.

Следует отметить, что преимущество ансамбля проявляется не одинаково для всех наблюдаемых величин. Для отдельных сетевых метрик лучшей может оказаться статистическая модель, тогда как для риск-формирующих температурных и нагрузочных рядов адаптивное ансамблирование обеспечивает более устойчивый результат. Поэтому в прикладной системе итоговая оценка качества выполняется по каждой метрике и каждому горизонту отдельно, а не по одному интегральному $RMSE$ для всех ря-

дов одновременно [6].

Эти метрики удобны для анализа, поскольку сочетают суточную сезонность и выраженное изменение уровня во времени.

Оценка качества прогнозирования

Качество прогнозов оценивалось отдельно по каждой метрике. Это принципиально важно, поскольку агрегирование в один показатель рядов с единицами %, °C, KB/s и ms приводит к методически некорректной интерпретации итоговой ошибки [5].

Для количественной оценки результатов использовались метрики средней абсолютной ошибки (MAE) и среднеквадратической ошибки ($RMSE$) [7]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|,$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}.$$

Таблица 2. Сравнение точности прогнозных моделей для риск-формирующих метрик на горизонте 30 суток

Модель	<i>RMSE (CPU)</i> , %	<i>MAE (CPU)</i> , %	<i>RMSE (Т системы)</i> , °C	<i>MAE (Т системы)</i> , °C
<i>SARIMA</i>	19,43	15,22	8,08	6,82
<i>LSTM</i>	20,40	14,66	11,19	7,14
Адаптивный ансамбль	18,89	13,67	7,59	5,84

Результаты сравнительного анализа для горизонта 30 суток представлены в табл. 2.

Для метрики загрузки *CPU* на 30-суточном горизонте ансамбль показал наименьшую ошибку: *RMSE* составила 18,89 %, *MAE* – 13,67 %, тогда как для *SARIMA* получены 19,43 % и 15,22 %, а для *LSTM* – 20,40 % и 14,66 % соответственно. Это указывает на то, что адаптивное сочетание статистической и нейросетевой ветвей позволяет снизить ошибку там, где ряд сохраняет сезонность, но при этом демонстрирует изменение среднего уровня.

Аналогичный анализ выполнен для метрики температуры системы. На том же горизонте ансамбль также оказался лучшим: *RMSE* 7,59 °C и *MAE* 5,84 °C против 8,08 °C и 6,82 °C у *SARIMA* и 11,19 °C и 7,14 °C у *LSTM*. Полученный результат показывает, что для температурных рядов ансамбль лучше удерживает баланс между сезонным профилем и нелинейной динамикой уровня.

Следует отметить, что преимущество ансамбля проявляется не одинаково для всех наблюдаемых величин. Для отдельных сетевых метрик лучшей может оказаться статистическая модель, тогда как для нагрузочных и температурных признаков итоговый ансамбль обеспечивает более устойчивое качество. Поэтому в практической системе оценка выполняется по каждой метрике отдельно, а не по смешанному интегральному показателю [7].

Заключение

В работе показано, что задача прогнозирования серверного оборудования должна формулироваться как задача прогноза отдельных эксплуатационных метрик, а не как попытка напрямую предсказать интегральное состояние сервера. Такой подход позволяет сохранить физический смысл переменных и использовать результаты прогноза в дальнейших модулях оценки состояния, риска отказа и выработки рекомендаций.

Реализованная система объединяет статистическую модель *SARIMA*, нейросетевую модель *LSTM* и механизм адаптивного ансамблирования, выбирающий соотношение моделей по историческому качеству на конкретной метрике и горизонте. Вычислительный эксперимент на данных мониторинга сервера за период с сентября 2024 г. по июнь 2025 г. показал, что ансамбль обеспечивает наилучшие результаты для ряда риск-формирующих метрик, в частности для загрузки *CPU* и температуры системы на горизонте 30 суток. Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что прогнозные траектории могут быть непосредственно использованы в контурах оценки состояния оборудования, оценки риска отказа и системе поддержки принятия решений по эксплуатации серверной инфраструктуры.

Литература

1. Добронев, Б.С. Численный вероятностный анализ неопределенных данных : монография / Б.С. Добронев, О.А. Попова. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2014. – 168 с. – ISBN: 978-5-7638-3093-4. – EDN: TUKXIT.
2. Добронев, Б.С. Вычислительный вероятностный анализ: модели и методы : монография / Б.С. Добронев, О.А. Попова. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2020. – 236 с.
3. Bates J.M., Granger C.W.J. The Combination of Forecasts // Operational Research Quarterly. 1969. Vol. 20, No. 4. P. 451-468. DOI: 10.1057/jors.1969.103
4. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C., Ljung G.M. Time Series Analysis: Forecasting and

Control. 5th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. 712 p.

5. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // *Neural Computation*. 1997. Vol. 9, No. 8. P. 1735-1780. DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735

6. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. *Forecasting: Principles and Practice*. 3rd ed. Melbourne: OTexts, 2021. URL: <https://otexts.com/fpp3/> (accessed: 09.04.2026).

7. Hyndman R.J., Koehler A.B. Another look at measures of forecast accuracy // *International Journal of Forecasting*. 2006. Vol. 22, No. 4. P. 679-688. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2006.03.001

8. Khashei M., Bijari M. A novel hybridization of artificial neural networks and ARIMA models for time series forecasting // *Applied Soft Computing*. 2011. Vol. 11, No. 2. P. 2664-2675. DOI: 10.1016/j.asoc.2010.10.015

9. Zhang G.P. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model // *Neurocomputing*. 2003. Vol. 50. P. 159-175. DOI: 10.1016/S0925-2312(01)00702-0 EDN: BDCBCZ

References

1. Dobronets, B.S. *CHislennij veroyatnostnij analiz neopredelennykh dannykh : monografiya* / B.S. Dobronets, O.A. Popova. – Krasnoyarsk : Sibirskij federalnij universitet, 2014. – 168 s. – ISBN: 978-5-7638-3093-4. – EDN: TUKXIT.

2. Dobronets, B.S. *Vychislitel'nyj veroyatnostnij analiz: modeli i metody : monografiya* / B.S. Dobronets, O.A. Popova. – Krasnoyarsk : Sibirskij federalnij universitet, 2020. – 236 s.

© К.В. Макаренко, О.А. Попова, Б.С. Добронетц, 2026

АЛГОРИТМ И МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КРИТЕРИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖИДКОГО НАТРИЯ В КОНТУРАХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

М.М. МАМБВЕ, В.В. АНДРЕЕВ, Х.А.К.М. АЛХАЗАЙМЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева»,
г. Нижний Новгород

Ключевые слова и фразы: гидравлическое сопротивление; диффузионно-связанный теплообменник; жидкий натрий; зигзагообразные микроканалы; логарифмический; обобщение; прогнозирование; число Рейнольдса.

Аннотация: В данной статье цель – прогнозирование гидравлического сопротивления натрия в диффузионно-сварных компактных нержавеющих теплообменниках для оценки эффективности САОТ в реакторах БН. Задачи включают обобщение данных по сопротивлению натрия и свинцово-висмутового сплава для различных геометрий контуров, а также характеристик перепада давления и трения в зигзагообразных микроканалах. Гипотеза заключается в том, что сравнительный анализ этих данных позволяет прогнозировать гидравлику натрия в диффузионно-сварных системах. Методы включают анализ литературных кривых сопротивления, систематическое обобщение и перекрестное сопоставление данных. Результаты дают квалифицированный прогноз сопротивления натрия и предлагают прогностические методики, существенно сокращающие необходимость в длительных дорогостоящих экспериментах при проектировании специализированного оборудования.

Обозначения

- ξ – гидравлическое сопротивление;
- α – ламинарный угол (°);
- ΔP – перепад давления (Па);
- $\xi_{\text{пр}}$ – приведенное гидравлическое сопротивление;
- $Re_{\text{пр}}$ – приведенное число Рейнольдса;
- $\tan \alpha_{\text{пр}}$ – приведенный переходный угол;
- T – температура (К);
- β – турбулентный угол (°);
- Re – число Рейнольдса.

Введение

Переход от экспериментального метода проб и ошибок к прогнозному моделированию повышает эффективность на этапах проектирования, закупок и оперативного планирования. Следующее поколение ядерных реакторов и солнечных электростанций, вероятно, будет использовать компактные теплообменники. Диф-

фузионно-связанный теплообменник (ДСТ) был одним из первых таких устройств для обеих отраслей. В отличие от кожух отрубных, ДСТ допускает геометрическую оптимизацию для интенсификации теплопередачи, что особенно важно при сильно различающихся свойствах рабочих жидкостей, например жидкого натрия и сверхкритического CO_2 [4, с. 263].

ДСТ относят к компактным из-за малых гидравлических диаметров (1–2 мм), обеспечивающих площадь поверхности до $5000 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Благодаря микроканалам и диффузионной сварке многие конструкции ДСТ исследовались для гелия, сверхкритического CO_2 и перегретого пара. Геометрия микроканалов определяет скорость потока и число Пекле. Инженерная цель – работа в зоне умеренных чисел Пекле при эффективной теплопередаче.

Традиционный процесс проектирования – физические итерации (прототип, испытания, отбраковка) – весьма затратен для ДСТ. Прогнозирование перепада давления с помощью CFD

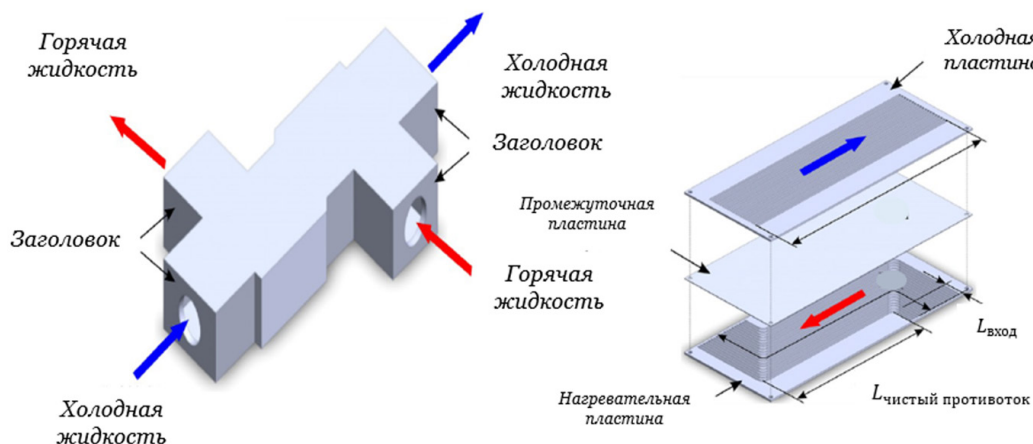


Рис. 1. Обзор диффузионно-сварного теплообменного оборудования

или аналитических методов позволяет тестировать сотни конфигураций на компьютере: месяцы испытаний заменяются неделями расчетов.

Прогнозирование потери давления смещает подход от «запаса прочности» к «точному проектированию», экономя время и деньги. На АЭС после остановки реактора требуется отвод остаточного тепла. Гидравлическое сопротивление определяет нагрузку на насосы; инженеры должны выбрать насосы под расчетное сопротивление.

Многие современные реакторы (и все старые при полном обесточивании) используют естественную циркуляцию. Движущий напор очень слаб, а гидравлическое сопротивление является препятствием. Инженеры должны доказать, что слабой движущей силы достаточно – иначе циркуляция остановится и пассивное охлаждение выйдет из строя.

Сопротивление и теплопередача связаны: сопротивление – функция скорости [2, с. 40; 3, с. 47]. Перепад давления создает механические нагрузки на трубы, трубные доски и коллекторы. Высокие скорости могут вызывать эрозию или вибрацию. В реакторах типа БН вибрирующая труба может протереться и создать утечку из радиоактивного первого контура. Расчет сопротивления помогает прогнозировать режим течения и гарантирует механическую целостность на десятилетия, объединяя тепловой, механический и безопасностный анализ.

В статье представлен прогноз гидравлического сопротивления жидкого натрия в ДСТ. Жидкий натрий – теплоноситель выбора для перспективных реакторов на быстрых нейтронах. Его химическая реакционная способность

и коррозионная активность делают его сложной средой, что дополнительно обосновывает применение прогнозного метода обобщения, рассмотренного в работе.

Цель исследования – продемонстрировать метод прогнозирования кривой гидравлического сопротивления жидкого натрия в диффузионно-сварном теплообменнике. Метод использует литературные данные по сопротивлению натрия при разных температурах в сложных контурах. Прогнозная кривая будет получена обобщенным аналитическим методом и сопоставлена с документированными кривыми для диапазона 200–550 °C в контуре ДСТ типа, показанного на рис. 1. Для валидации метода прогнозная кривая будет сравнена с экспериментальными данными из литературы по натрию в теплообменных контурах различных конфигураций, с оценкой погрешности аппроксимации.

В исследовании используются графики из литературы (рис. 2) для прогнозирования кривой гидравлического сопротивления жидкого натрия в циркуляционном контуре диффузионно-сварного теплообменника (ДСТ) [5, с. 15]. В качестве источника данных рассматривались кривые сопротивления натрия и свинцово-висмутового сплава при температурах от 200 °C до 800 °C.

В работе используется метод обобщения литературных данных, а не CFD, который требует сложной настройки и верификации [7, с. 72]. Кривые сопротивления натрия и Pb-Bi (рис. 2) оцифрованы, нормированы и приведены к безразмерному виду. Гипотеза: модифицированная процедура (логарифмические координаты) позволяет прогнозировать полную

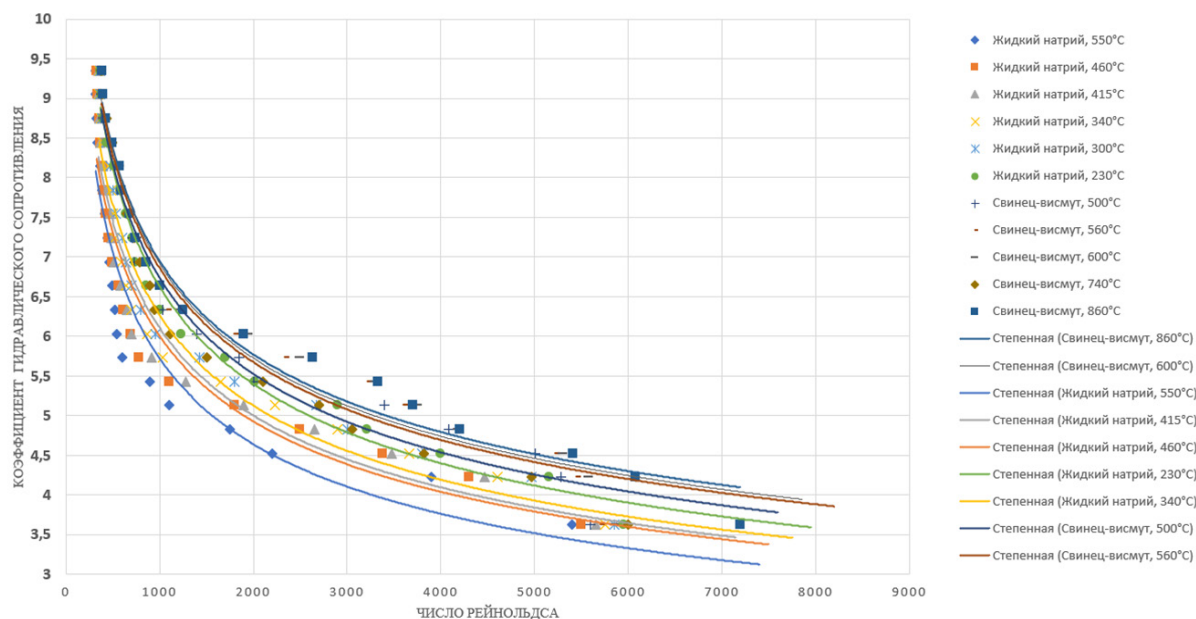


Рис. 2. Перерисованные характеристические кривые, отражающие результаты измерений гидравлического сопротивления жидкого натрия и свинцово-висмутового сплава в интервале температур 230–860 °С для ряда сложных циркуляционных контуров

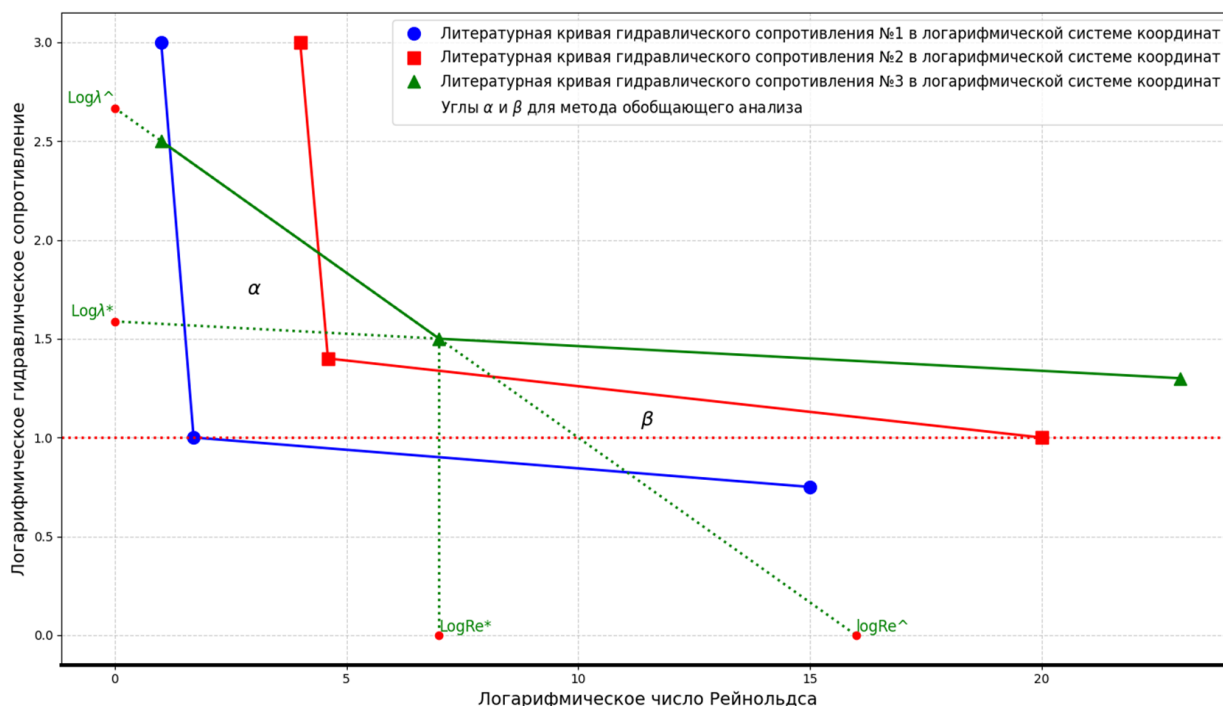


Рис. 3. Характеристические кривые гидравлического сопротивления в логарифмических координатах

кривую $\xi(Re)$ по ограниченным данным, сокращая испытания. Требования к источникам: график $\xi(Re)$ с ламинарной и турбулентной областями. Данные преобразованы в $\lg \xi = f(\lg Re)$

(рис. 3).

Левая ветвь (ламинарное течение) круто наклонена к оси Re , правая (турбулентное) почти горизонтальна. Ветви пересекаются при кри-

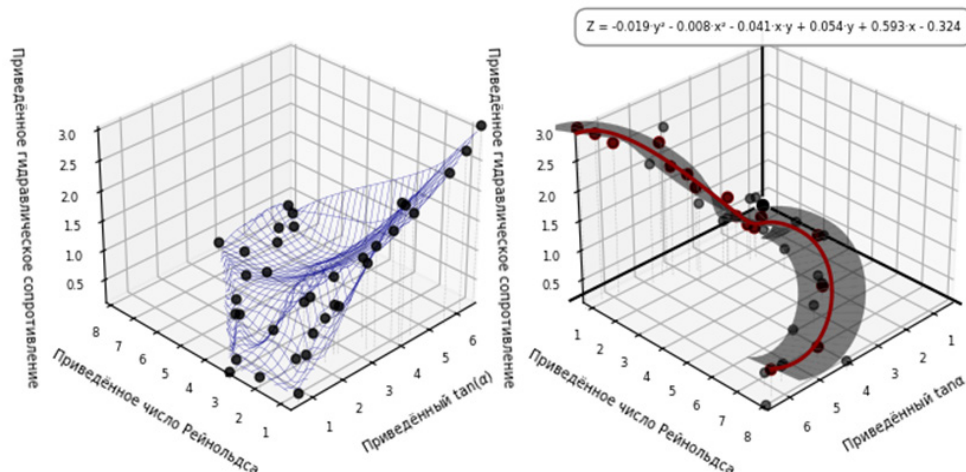


Рис. 4. Трехмерное представление в системе приведенных координат

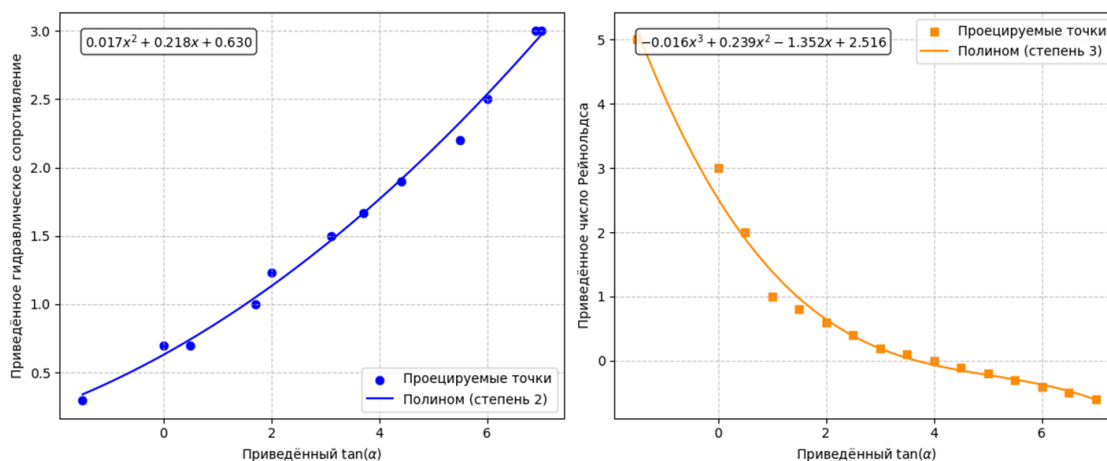


Рис. 5. Графики функций $\xi_{\text{пр}} = f(\tan \alpha_{\text{пр}})$ и $Re_{\text{пр}} = f(\tan \alpha_{\text{пр}})$ в проекции на координатные оси

тическом Re . Крайние точки каждой ветви аппроксимированы прямыми.

$$\lg(\xi) = k_1 \lg(Re) + b_1, \quad (1)$$

$$\lg(\xi) = k_2 \lg(Re) + b_2. \quad (2)$$

Нахождение точки пересечения этих линий (слева и справа) дает критическое значение числа Рейнольдса.

Найдя точку пересечения левой ветви с координатными осями, получаем два значения: нулевой коэффициент сопротивления и ноль числа Рейнольдса.

$$\lg(\xi^*) = b_1/k_1, \quad (3)$$

$$\lg(Re^*) = b_1. \quad (4)$$

Мы нормализуем координаты точки пересечения ветвей (критическое значение числа Рейнольдса) по этим значениям и получаем новые координаты – приведенный коэффициент сопротивления и приведенное значение числа Рейнольдса.

$$\lg(\xi_{\text{пр}}) = -\lg\left(\frac{\xi''}{\xi^*}\right) = \lg(\xi'') - \lg(\xi^*), \quad (5)$$

$$\lg(Re_{\text{пр}}) = -\lg\left(\frac{Re''}{Re^*}\right) = \lg(Re'') - \lg(Re^*). \quad (6)$$

В данной системе координат эти два числа

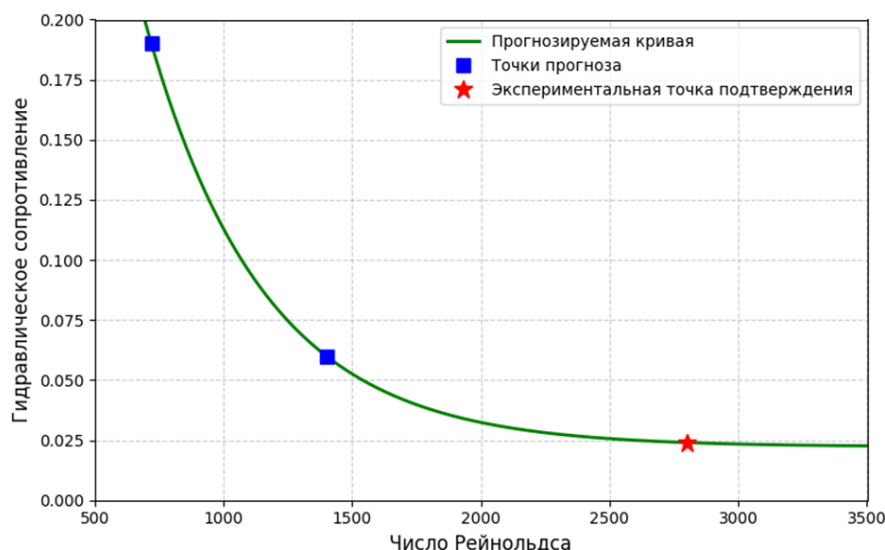


Рис. 6. Прогнозная кривая жидкого натрия как рабочего тела в диапазоне температур 230–550 °С для теплообменного оборудования с диффузионной сваркой

дадут точку, которую можно рассматривать как образ исходной экспериментальной кривой.

Обобщенная зависимость строится на трехмерном графике, где третья координата – наклон ветви. Для двух режимов (ламинарный и турбулентный) нужны два угловых параметра: α (ламинарный наклон) и β (турбулентный). Углы рассчитываются по формулам:

$$\lg(\operatorname{tg} \alpha) = -\lg(-k_1), \quad (7)$$

$$\lg(\operatorname{tg} \beta) = -\lg(-k_2). \quad (8)$$

Таким образом, получаем два множества трехмерных координат точки в виде $(\lg(\xi_{\text{пр}}), \lg(\operatorname{Re}_{\text{пр}}), \lg(\operatorname{tg} \alpha))$ и $(\lg(\xi_{\text{пр}}), \lg(\operatorname{Re}_{\text{пр}}), \lg(\operatorname{tg} \beta))$ соответствующей заданной экспериментальной кривой.

Все кривые для натрия и *Pb-Bi* обработаны по методике (уравнения 3–10) и приведены к безразмерному виду: $\operatorname{Log}(\operatorname{Re}_{\text{пр}})$ и $\operatorname{Log}(\xi_{\text{пр}})$. В результате получены: средняя температура, Re , ξ , уравнения левой (ламинарной) и правой (турбулентной) ветвей с коэффициентами доверия, критические Re и ξ , снижение ξ , заданные Re и углы наклона α и β .

Построен трехмерный график в координатах $(\xi_{\text{пр}}, \operatorname{Re}_{\text{пр}}, \operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}})$, где $\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}} = \operatorname{tg}(\alpha/\beta)$. На рис. 4 точки образуют пространственную конфигурацию. Прямая аппроксимация 3D-функции сложна, поэтому для выявления тенденции рассмотрены проекции на координатные

оси (рис. 5).

Из рис. 5 для графа $\xi_{\text{пр}} = f(\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}})$ приближение будет выглядеть в следующем виде:

$$\xi_{\text{пр}} = 0,017 \operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}}^2 + 0,218 \operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}} + 0,63, \quad (9)$$

И граф $\operatorname{Re}_{\text{пр}} = f(\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}})$ будет представлен формулой ниже:

$$\operatorname{Re}_{\text{пр}} = -0,016 \operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}}^3 + 0,239 \operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}}^2 - 1,352 \operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}} + 2,516. \quad (10)$$

Значение $\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}}$ экстраполируется квадратично из уравнений (9)–(10), где $\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}}$ – независимая переменная (аналог x в $Ax^2 + Bx + C = 0$). Это позволяет по нескольким точкам надежно определить коэффициенты. Затем $\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}}$ объединяется с ограниченным набором экспериментальных данных по сопротивлению, выбранных при стратегически подобранных Re . После экстраполяции уравнения (9)–(10) позволяют спрогнозировать сопротивление натрия в ДСТ из обобщенного набора данных.

Исследования [6, с. 407] показывают, что гидравлика натрия близка к воде, которую можно использовать как суррогат. Предлагаемый метод не имеет явной зависимости от наклона турбулентной ветви; точки выбираются вдали от переходной области. Совокупность точек ξ^* , ξ'' , Re^* , Re'' дает прогнозную кривую в логарифмических координатах с явным пере-

ходом от ламинарного к турбулентному режиму. После преобразования получается график $\xi(Re)$ (рис. 6). Требуется дополнительное экспериментальное подтверждение турбулентной точки. Поскольку большинство турбулентных режимов натрия в быстрых реакторах реализуются при данных Re , кривая хорошо сходится с экспериментальными точками. Погрешность $\leq 8\%$ соответствует инженерным расчетам. Пределы применимости модели охватывают основные элементы циркуляционных контуров быстрых реакторов.

Экспериментальные данные для метода: тепловой поток $50\text{--}210\text{ кВт/м}^2$, $Re\ 0\text{--}18\,000$, тем-

пература $200\text{--}550\text{ }^\circ\text{C}$. Режимы потока натрия в кольце: ламинарный ($Re < 2000$), переходный ($2000 < Re < 4000$), турбулентный ($Re > 4000$) [1, с. 220]. Прогнозная кривая для жидкого натрия в ДСТ представлена на рис. 6.

Построена прогнозная кривая гидравлического сопротивления жидкого натрия в ДСТ. Критическое число $Re\ 2000\text{--}2500$ подтверждает переход к турбулентности (~ 2300). Метод достоверен для $200\text{--}550\text{ }^\circ\text{C}$ по литературным данным. Результаты имеют практическое значение для проектирования теплообменников реакторов БН, особенно для сопряжения жидкого натрия с циклами Брайтона на sCO_2 .

Литература

1. Аакре, Ш.Р. Теплогидравлические характеристики жидкого натрия и сверхкритического CO_2 в диффузионно-связанном теплообменнике / Ш.Р. Аакре, Н.Дж. Торсон, М.Х. Андерсон // Журнал прикладной теплотехники. – 2015. – № 3. – С. 216–223.
2. Андреев, В.В. Исследование гидравлической характеристики змеевика малого радиуса гiba / В.В. Андреев, А.М. Самойлов, Н.П. Тарасова, Е.Г. Дегтерев, М.М. Мамбве // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 2. – С. 39–42. – EDN: DCNYRY.
3. Богданов, Ф.Ф. Исследование гидравлических сопротивлений в пучках гладких труб при продольном обтекании / Ф.Ф. Богданов // Атомная энергия. – 1967. – Т. 23. – Вып. 1. – С. 46–47.
4. Быстров, П.И. Жидкометаллические теплоносители тепловых труб и энергетических установок / П.И. Быстров, Д.И. Каган, Г.А. Кречетова, Э.Э. Шпильрайн. – М.: Наука, 1988. – 263 с.
5. Жуков, А.В. Турбулентный межканальный обмен импульсом в ТВС реакторов / А.В. Жуков, А.П. Сорокин, П.А. Титов, П.А. Ушаков. – Обнинск, 1989. (Препринт / Phys. Energy Inst.).
6. Исакофф, С.Э. Перенос тепла и импульса при турбулентном течении ртути / С.Э. Исакофф, Т.Б. Дрю // Общая дискуссия по теплообмену. – Лондон: Институт инженеров-механиков, 1951. – С. 405–409.
7. Казаковский, О.Д. Метод объединенных параметров в задаче о температурном поле в профилированных ТВС быстрых реакторов с неадиабатическими граничными условиями / О.Д. Казаковский, А.П. Сорокин, А.В. Жуков. – Обнинск, 1985. – 72 с. (Препринт / Институт физики энергии, 1972).

References

1. Aakre, SH.R. Teplogidravlicheskie kharakteristiki zhidkogo natriya i sverkhkriticheskogo CO_2 v diffuzionno-svyazannom teploobmennike / SH.R. Aakre, N.Dzh. Torson, M.KH. Anderson // ZHurnal prikladnoj teplotekhniki. – 2015. – № 3. – S. 216–223.
2. Andreev, V.V. Issledovanie gidravlicheskoj kharakteristiki zmeevika malogo radiusa giba / V.V. Andreev, A.M. Samojlov, N.P. Tarasova, E.G. Degterev, M.M. Mambve // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzhya. – 2024. – № 2. – S. 39–42. – EDN: DCNYRY.
3. Bogdanov, F.F. Issledovanie gidravlicheskich soprotivlenij v puchkakh gladkikh trub pri prodolnom obtekanii / F.F. Bogdanov // Atomnaya energiya. – 1967. – T. 23. – Vyp. 1. – S. 46–47.
4. Bystrov, P.I. ZHidkometallicheskie teplonositeli teplovykh trub i energeticheskikh ustanovok / P.I. Bystrov, D.I. Kagan, G.A. Krechetova, E.E. SHpilrajn. – M.: Nauka, 1988. – 263 s.
5. ZHukov, A.V. Turbulentnij mezhkanalnij obmen impulsom v TVS reaktorov / A.V. ZHukov, A.P. Sorokin, P.A. Titov, P.A. Ushakov. – Obninsk, 1989. (Preprint / Phys. Energy Inst.).
6. Isakoff, S.E. Perenos tepla i impulsa pri turbulentnom techenii rtuti / S.E. Isakoff, T.B. Dryu // Obshchaya diskussiya po teploobmenu. – London: Institut inzhenerov-mekhanikov, 1951. – S. 405–409.

7. Kazakovskij, O.D. Metod obedinennykh parametrov v zadache o temperaturnom pole v profilirovannykh TVS bystrykh reaktorov s neadiabaticheskimi granichnymi usloviyami / O.D. Kazakovskij, A.P. Sorokin, A.V. Zhukov. – Obninsk, 1985. – 72 s. (Preprint / Institut fiziki energetiki, 1972).

© М.М. Мамбве, В.В. Андреев, Х.А.К.М. Алхазайме, 2026

МЕТОД И АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КРИТЕРИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМИНИЕВОГО КОНТУРА ТЕПЛООБМЕННИКА

М.М. МАМБВЕ, В.В. АНДРЕЕВ, Х.А.К.М. АЛХАЗАЙМЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева»,
г. Нижний Новгород

Ключевые слова и фразы: коэффициент гидравлического сопротивления; число Рейнольдса; метод Такаги – Сугено; низкоразмерные гидравлические контуры; алюминиевый теплообменник; системный анализ; гидравлическая характеристика.

Аннотация: В данной статье ставится цель – заменить кусочно-заданные формулы Блазиуса, Альтшуля и Шифринсона на единую гладкую аппроксимацию коэффициента гидравлического сопротивления. Для этого решаются следующие задачи: разработать аппроксимацию методом нечеткого вывода Такаги – Сугено, которая устраняет разрывы при смене зон течения, провести эксперименты на алюминиевом трубчатом теплообменнике с аксиальной навивкой проволочек в лаборатории кафедры ядерных реакторов и энергетических установок Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева и верифицировать предложенную модель. Гипотеза заключается в том, что метод Такаги – Сугено обеспечивает плавную взвешенную интерполяцию между зонными аппроксимациями, формируя непрерывную монотонную кривую $\lambda(Re)$. В работе используются нечеткое моделирование и лабораторный эксперимент в широком диапазоне массового расхода. В результате предложенная Т-С аппроксимация экспериментально подтверждена и показала преимущество перед классическими кусочными формулами.

Обозначения

- ξ – коэффициент гидравлического сопротивления (безразмерный);
- ω – средняя скорость потока (м/с);
- ΔP – перепад давления (Па);
- λ – коэффициент гидравлического трения (Дарси);
- ρ – плотность жидкости (кг/м³);
- A – площадь поперечного сечения потока (м²);
- q – объемный расход (м³/с);
- μ – динамическая вязкость Па·с;
- Re – число Рейнольдса.

Трубчатые теплообменники широко применяются в промышленности. В сложных гидравлических контурах перепад давления определяет производительность насосов. В атомной энергетике контуры разделяют для локализации

радиоактивности (ВВЭР), разных фазовых состояний (РБМК) или задач (выработка энергии и безопасность). Реактор МКЭР с 16 независимыми контурами исключает полную потерю теплоносителя при единичном отказе, обеспечивая эшелонированную защиту.

Потери энергии при течении в трубе измеряются статическим падением давления.

Уравнение Дарси – Вейсбаха [1] применимо для ламинарного и турбулентного режимов, любых жидкостей (с ограничениями – для газов и паров) при постоянном диаметре и прямой трубе. Экспериментально определяется только коэффициент трения: при $Re < 2300$ он рассчитывается, при $Re > 4000$ – экспериментально, в переходной зоне (2300–4000) – неопределен. Падение давления:

$$\Delta P = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} + \Delta p_{\text{нив}} + \Delta p_{\text{уск}}, \quad (1)$$

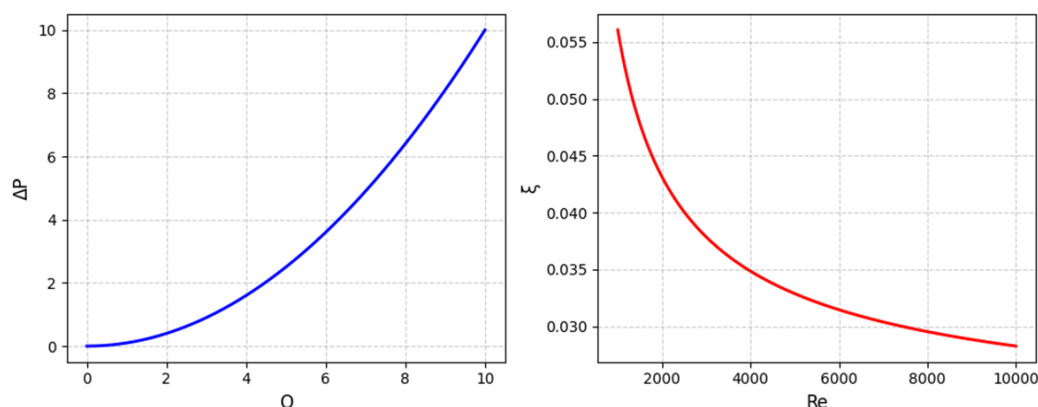


Рис. 1. Давление-поток и гидравлические характеристики

$$\Delta p_{\text{тр}} = \xi_{\text{тр}} \frac{\rho \omega^2}{2}. \quad (2)$$

$$V = \frac{q}{A} = \frac{4q}{\pi D^2}. \quad (6)$$

Локальные потери [1]:

$$\Delta p_{\text{м}} = \xi_{\text{м}} \frac{\rho \omega^2}{2}. \quad (3)$$

Диаметр трубы при объемном расходе:

$$D = \sqrt{\frac{4q}{\pi v}}, \quad (7)$$

Принцип наложения потерь (общие потери = сумма отдельных) применим лишь при наличии длинного участка между сопротивлениями (обычно $l_{\text{вл}} = 10d$). Гидравлическое сопротивление:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} = \\ &= \left(\lambda_{\text{тр}} \frac{L}{d} + \sum_i \xi_{\text{м},i} \right) \frac{\rho \omega^2}{2} = \lambda \frac{\rho \omega^2}{2}. \end{aligned} \quad (4)$$

В ядре реактора основные локальные сопротивления – спейсерные сетки с шагом 20–30 диаметров твэлов; $\xi_{\text{м}} = 0,5$ [6, с. 1118]. Зависимость $\lambda_{\text{тр}}(\text{Re})$:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{\text{тр}}}} = C \lg(\text{Re} \sqrt{\lambda_{\text{тр}}}) + D. \quad (5)$$

Коэффициент трения зависит от режима: при ламинарном – только от Re , при турбулентном – также от шероховатости (Δ , Δ/d) [1, с. 224]. Труба гидравлически гладкая, если Δ меньше толщины вязкого подслоя. Средняя скорость из уравнения неразрывности:

где D – внутренний диаметр трубы; q – объемный расход; v – скорость; A – площадь сечения труб.

При массовом расходе w :

$$D = \sqrt{\frac{4w}{\pi \rho v}}, \quad (8)$$

где D – внутренний диаметр трубки; w – массовый расход; ρ – плотность жидкости; v – скорость.

Число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{vD}{\nu} = \frac{\rho v D}{\mu}, \quad (9)$$

где D – внутренний диаметр трубы; v – скорость; ρ – плотность; ν – кинематическая вязкость; μ – динамическая вязкость.

Потери энергии при течении в трубе измеряются статическим падением давления. Уравнение Дарси – Вейсбаха применимо для ламинарного и турбулентного режимов, любых жидкостей (с ограничениями – для газов и паров). При известных D , L и расходе скорость вычисляется из уравнения неразрывности. Экс-

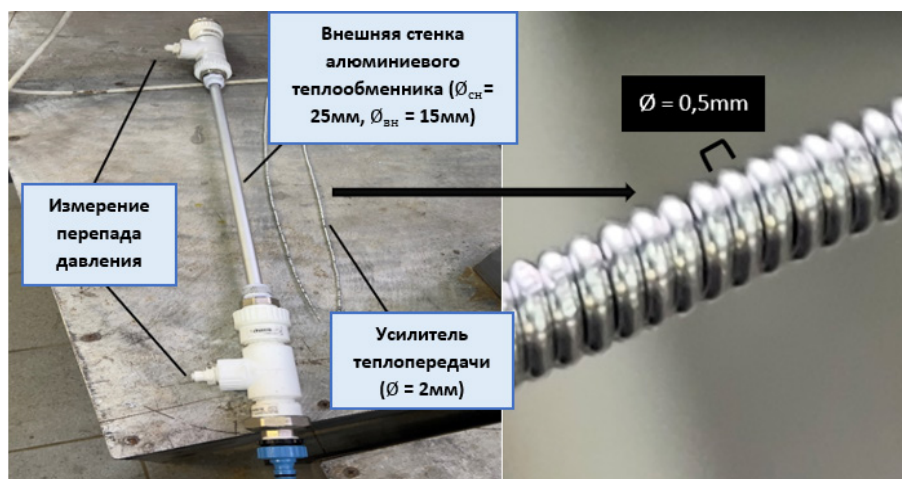


Рис. 2. Конфигурация алюминиевой трубки теплообменника с внутренними усилителями теплопередачи

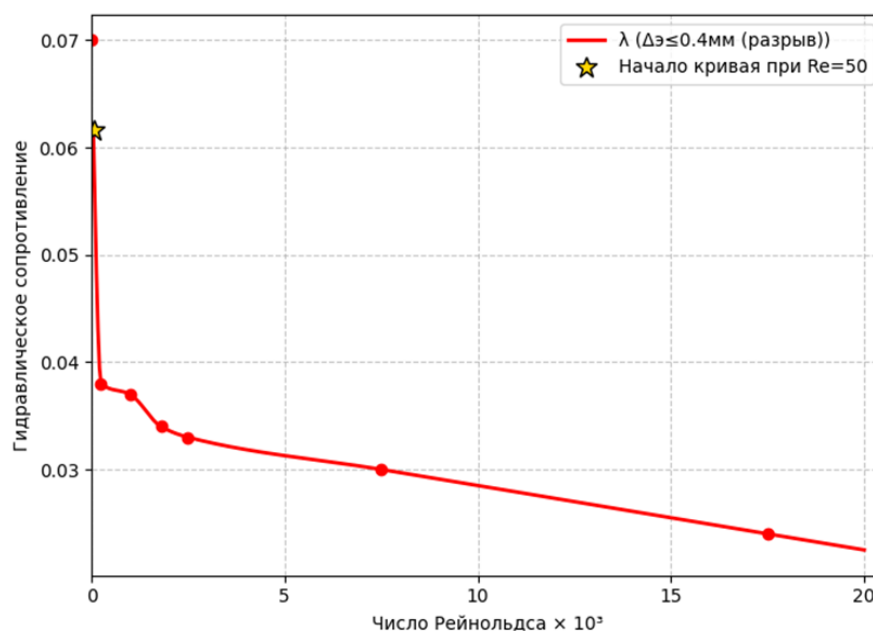


Рис. 3. Кривая гидравлического сопротивления воды при температуре 21 °С в трубчатом алюминиевом теплообменном оборудовании с разрывом

периментально определяется только коэффициент трения. При $Re < 2300$ он рассчитывается, при $Re > 4000$ – экспериментально. В переходной зоне (2300–4000) коэффициент трения не определен.

Цель работы – построение аппроксимирующей зависимости для гидравлической характеристики низкоразмерного алюминиевого циркуляционного контура теплообменника с внутренними интенсификаторами. За основу взята кривая разорванного гидравлического со-

противления. Для плавной аппроксимации применяется метод нечеткого вывода Такаги – Сугено.

Задачи: адаптировать разорванную кривую к данному контуру, реализовать алгоритм Т-С для потока воды при 21 °С и получить аналитическую зависимость, адекватно описывающую сопротивление в исследуемом диапазоне.

Методы исследования. Собран низкоразмерный гидравлический контур с алюминиевым теплообменником (вода, 21 °С) [4, с. 28].

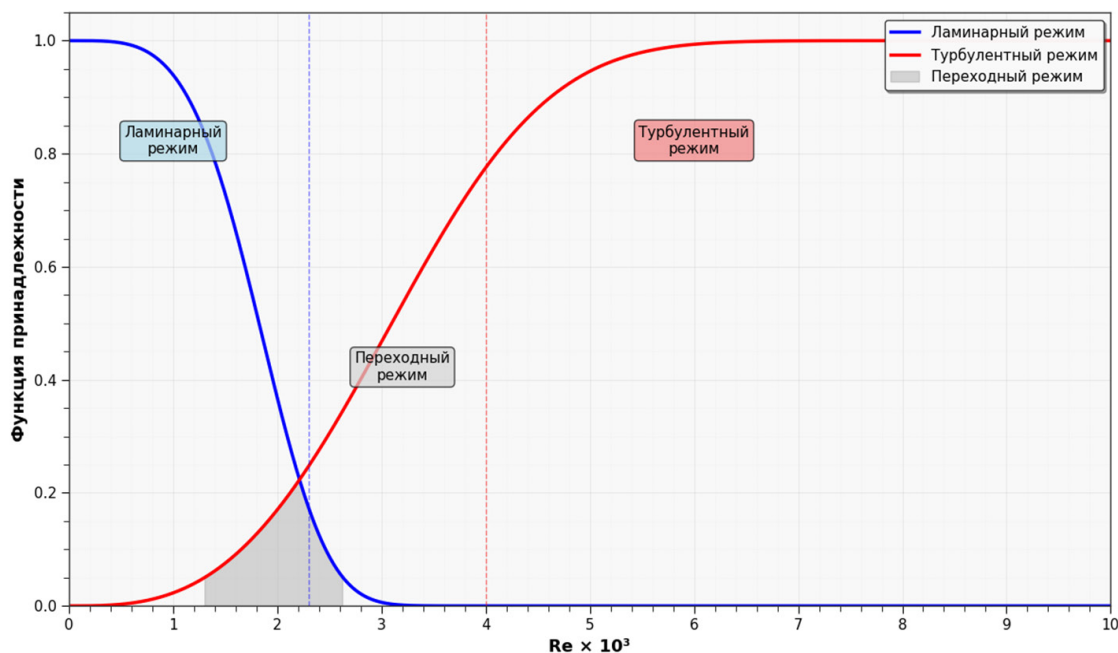


Рис. 4. Функции принадлежности для четкого множества «Ламинарный режим» и нечетких множеств «Переходный режим» и «Турбулентный режим»

Экспериментальные кривые гидравлического сопротивления обнаружили разрывы, особенно в переходной зоне шероховатости. Метод Такаги – Сугено сглаживает такие кривые, комбинируя простые модели через нечеткие правила на основе числа Рейнольдса. Результат полезен для моделирования систем управления и прогнозирования кривых [2, с. 40].

При ламинарном течении ($Re < 2300$) $\lambda = 64/Re$ (точное решение для круглой трубы). В переходном режиме ($2300 < Re < 4000$) течение неустойчиво, коэффициент трения непредсказуем, поэтому этот диапазон в инженерных расчетах избегают.

Турбулентное течение ($Re > 4000$) делится на три зоны. В гидравлически гладкой λ зависит только от Re (Блазиус, Конаков). В переходной шероховатости λ зависит от Re и относительной шероховатости (Альтшуль) [7, с. 264]. В полностью шероховатой λ определяется только шероховатостью (Никурадзе).

В переходной зоне метод Т-С находит устойчивое значение сопротивления, учитывая достоверность данных в разных кластерах. Он избегает разрывов при смене режимов, сохраняя характерный «горб» переходной зоны. В работе используется модифицированный метод Сугено [8, с. 269] с нелинейными аппроксимирующими функциями для λ . Введена перемен-

ная «Режим течения» с тремя термами: «Ламинарный», «Переходный», «Турбулентный» (функции принадлежности – на рис. 4). Значения гидравлического сопротивления определяются из приведенного ниже уравнения:

$$\lambda = \frac{\lambda_1 \Pi_1 + \lambda_2 \Pi_2 + \lambda_3 \Pi_3}{\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3}, \quad (10)$$

где

$$\lambda_1 = \frac{64}{Re}, \quad \lambda_2 = \frac{64}{Re}(1 - \gamma) + \frac{0,3164}{Re^{0,25}},$$

$$\lambda_3 = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

или

$$\lambda_1 = \frac{75}{Re}, \quad \lambda_2 = \frac{75}{Re}(1 - \gamma) + \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2} \gamma,$$

$$\lambda_3 = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

Π_1 – значение функции принадлежности для потока воды в ламинарном режиме при $21^\circ C$

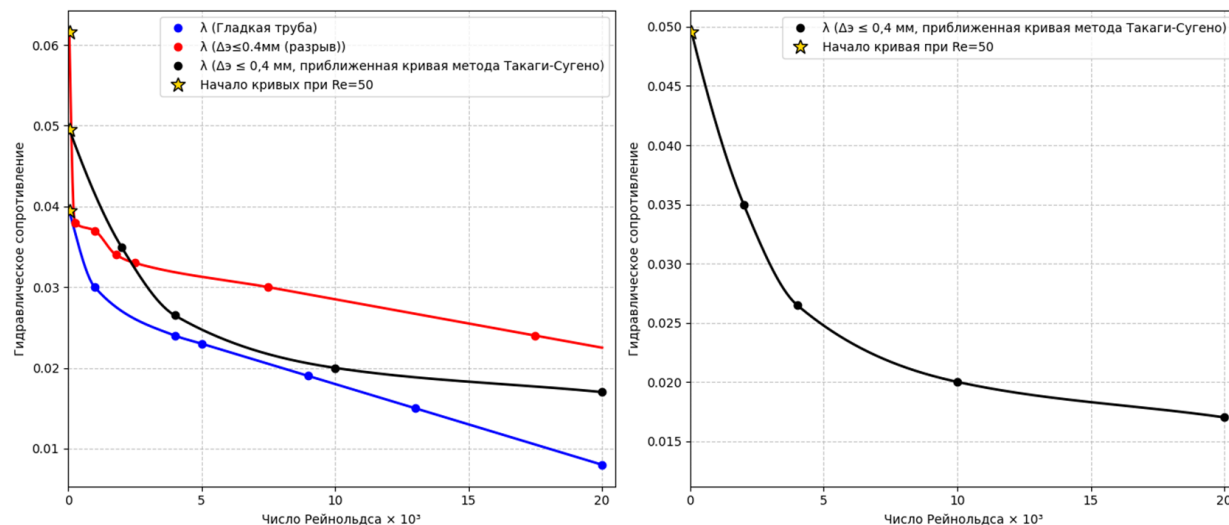


Рис. 5. Окончательный вид аппроксимированного графика зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса для алюминиевого трубчатого теплообменника

в алюминиевом трубчатом теплообменнике; Π_2 – значение функции принадлежности для переходного режима потока воды при 21°C в алюминиевом трубчатом теплообменнике; Π_3 – значение функции принадлежности для турбулентного режима потока воды при 21°C в алюминиевом трубчатом теплообменнике.

Сначала в зависимости от числа Рейнольдса вычисляются значения функций принадлежности для каждого терма, а затем определяется результирующее значение коэффициента гидравлического сопротивления λ .

Графики зависимости $\lambda(\text{Re})$ для шероховатых труб с исходным разрывом показаны на рис. 3 и 5; для гладких труб ($\Delta_z = 0$) разрыва нет. Метод Такаги – Сугено устранил разрыв на границе переходной и турбулентной зон. Получена гладкая функция $\lambda(\text{Re}, \Delta_z)$ для $\Delta_z \leq 0,4$ мм. На рис. 5 представлены три кривые: гладкая труба, шероховатая с разрывом (ярко-красная) и шероховатая после сглаживания (черная). Физические требования: λ монотонно убывает; для гладкой трубы – логарифмическое убывание, для шероховатой – стремится к константе;

$\lambda(\text{шероховатая}) \geq \lambda(\text{гладкая})$.

Метод Такаги – Сугено избегает переобучения (8 узлов), гарантирует монотонность и воспроизводит квадратичную асимптоту до $\text{Re} = 80\,000$, в отличие от полиномиальной интерполяции. Цель работы достигнута: разрывы в зависимости $\lambda(\text{Re})$ для воды в алюминиевом теплообменнике устранены, получена гладкая непрерывная кривая без переключения формул. Реализованный алгоритм вычислительно эффективен и пригоден для моделирования теплообменного оборудования и систем автоматического управления [5, с. 124].

Традиционные кусочно-заданные аппроксимации дают скачки на границах режимов, вызывая численную нестабильность. Предложенный метод обеспечивает гладкую монотонную кривую $\lambda(\text{Re})$ для труб с $\Delta_z \leq 0,4$ мм. Сравнение кривых подтверждает физическую состоятельность: черная кривая (нечеткая аппроксимация) монотонна, имеет правильную асимптотику и $\lambda(\text{шероховатая}) \geq \lambda(\text{гладкая})$. Отклонения $\leq 0,007$. Метод эффективен для построения непрерывных гидравлических моделей.

Литература

1. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтшуль. – М. : Недра, 1982. – 224 с.
2. Андреев, В.В. Исследование гидравлической характеристики змеевика малого радиусагиба / В.В. Андреев, А.М. Самойлов, Н.П. Тарасова, Е.Г. Дегтерев, М.М. Мамбве // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 2. – С. 39–42. – EDN: DCNYRY.

3. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям : 3-е изд., перераб. и доп. / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. – М. : Машиностроение, 1992. – 671 с.
4. Мамбве, М.М. Характеристики гидравлического сопротивления алюминиевого трубчатого теплообменника с внутренними интенсификаторами теплоотдачи / М.М. Мамбве, Н.П. Тарасова // Международный молодежный форум «Россия – Африка: потенциал ядерного образования для успешного развития региона». – М., 2025. – С. 28.
5. Скрипник, А.Н. Гидравлическое сопротивление и теплоотдача труб с внутренними спиральными ребрами при однофазном течении теплоносителя : дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Скрипник, 2020. – 124 с.
6. Михайлос, К.Т. Обзор доступных коэффициентов местных потерь для тройников при слиянии и разделении потоков / К.Т. Михайлос // Pipelines, 2011. – С. 1116–1123.
7. Дэб, П. Турбулентное течение и теплообмен над нагретыми модулями для широкого диапазона чисел Рейнольдса и размеров модулей / П. Дэб, П. Маджумдар // Журнал электронного производства. – 2000. – Т. 10. – № 4. – С. 263–269.
8. Сугено, М. Промышленные приложения нечеткого управления / М. Сугено. – Амстердам : Elsevier Science Pub. Co., 1985. – 269 с.

References

1. Altshul, A.D. Gidravlicheskie soprotivleniya / A.D. Altshul. – M. : Nedra, 1982. – 224 s.
2. Andreev, V.V. Issledovanie gidravlicheskoj kharakteristiki zmeevika malogo radiusa giba / V.V. Andreev, A.M. Samojlov, N.P. Tarasova, E.G. Degterev, M.M. Mambve // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzhya. – 2024. – № 2. – S. 39–42. – EDN: DCNYRY.
3. Idelchik, I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam : 3-e izd., pererab. i dop. / I.E. Idelchik; pod red. M.O. SHtejnb erga. – M. : Mashinostroenie, 1992. – 671 s.
4. Mambve, M.M. KHarakteristiki gidravlicheskogo soprotivleniya alyuminievogo trubchatogo teploobmennika s vnutrennimi intensifikatorami teplootdachi / M.M. Mambve, N.P. Tarasova // Mezhdunarodnij molodezhnij forum «Rossiya – Afrika: potentsial yadernogo obrazovaniya dlya uspeshnogo razvitiya regiona». – M., 2025. – S. 28.
5. Skripnik, A.N. Gidravlichesкое soprotivlenie i teplootdacha trub s vnutrennimi spiralnymi rebrami pri odnofaznom techenii teplonositelya : dis. ... kand. tekhn. nauk / A.N. Skripnik, 2020. – 124 s.
6. Mikhajlos, K.T. Obzor dostupnykh koeffitsientov mestnykh poter dlya trojnikov pri sliyanii i razdelenii potokov / K.T. Mikhajlos // Pipelines, 2011. – S. 1116–1123.
7. Deb, P. Turbulentnoe techenie i teploobmen nad nagretyimi modulyami dlya shirokogo diapazona chisel Rejnoldsa i razmerov modulej / P. Deb, P. Madzhumdar // ZHurnal elektronno go proizvodstva. – 2000. – T. 10. – № 4. – S. 263–269.
8. Sugeno, M. Promyshlennye prilozheniya nechetskogo upravleniya / M. Sugeno. – Amsterdam : Elsevier Science Pub. Co., 1985. – 269 s.

© М.М. Мамбве, В.В. Андреев, Х.А.К.М. Алхазайме, 2026

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ АТАКИ СЕТЕВОГО УРОВНЯ ДЛЯ СИСТЕМ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА

А.Л. ПЕТРЯНКИН, Я.С. ГРОДЗЕНСКИЙ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: поверхность атаки; динамическая модель; сетевой уровень; удаленный доступ; нулевое доверие; сессионный доступ; метрика безопасности.

Аннотация: Классические модели поверхности атаки рассматривают экспонируемые ресурсы как статическое свойство фиксированной конфигурации, что недостаточно для сетевых систем удаленного доступа, где под влиянием политик доступа, состояния соединений и контекстных атрибутов множество достижимых узлов и каналов изменяется во времени – особенно остро в архитектурах нулевого доверия (ZTNA). Целью работы является разработка формальной динамической модели поверхности атаки сетевого уровня. Решены задачи анализа ограничений статических моделей, формализации динамической поверхности атаки $AS(t)$ через множество Kt разрешенных взаимодействий, построения трехкомпонентной весовой функции $w(u, s, t)$ по измерениям Howard, Pincus и Wing (привилегии, канал, аутентификация) и вывода мгновенной, усредненной и дискретной метрик. Гипотеза исследования: поверхность атаки сетевого уровня может быть формально определена не как статическая характеристика ресурсного графа, а как динамическая функция операционного состояния системы, а весовая функция позволяет количественно различать состояния с одинаковой мощностью множества взаимодействий, но разной атакуемостью. Методы: формальное теоретико-множественное моделирование, аддитивная декомпозиция с нормализацией по качественным шкалам, вычислительный эксперимент на трехшаговом сценарии перехода от VPN к ZTNA. В результате взвешенная метрика монотонно снижается ($1,566 \rightarrow 0,866 \rightarrow 0,433$) при усилении защиты, тогда как базовая метрика на основе мощности $|Kt|$ не различает качественно разные состояния; количественно продемонстрировано различие VPN и ZTNA архитектур по динамической поверхности атаки.

Введение

Поверхность атаки – совокупность ресурсов системы, подверженных потенциальному риску атаки [1], – является фундаментальным понятием информационной безопасности. Конкретное содержание этого понятия определяется уровнем рассмотрения: для программного обеспечения оно связано с интерфейсами и уязвимостями, для сетевого доступа – с множеством экспонируемых ресурсов и точек подключения. В классических работах система рассматривается в статической постановке – в рамках фиксированного состояния, конфигурации или версии.

Актуальность задачи обусловлена перехо-

дом инфраструктур к распределенной модели, в которой традиционная периметровая защита теряет эффективность. В архитектурах нулевого доверия (ZTNA), основанных на динамическом управлении доступом [2], изменение контекста подключения (геолокация, время, состояние устройства) приводит к перестроению множества разрешенных взаимодействий в пределах одной сессии [3]. Это создает противоречие между динамической природой сетевых взаимодействий и статическими средствами измерения поверхности атаки: существующие формализации вычисляют поверхность атаки на основе заданного графа ресурсов и не описывают ее изменение во времени под влиянием операционного состояния инфраструктуры.

Целью статьи является разработка формальной динамической модели поверхности атаки сетевого уровня, основанной на изменяющемся во времени множестве разрешенных взаимодействий. Основной вклад работы: в отличие от существующих подходов, модель определяет поверхность атаки не через фиксированный ресурсный граф, а как функцию текущего операционного состояния, сохраняя семантику классических измерений *Howard*, *Pincus* и *Wing* (методы, каналы, данные) и не смешивая метрику с оценкой риска или бизнес-влияния.

Обзор существующих подходов и постановка задачи

Существующие подходы к измерению поверхности атаки можно разделить на три группы: классические метрики программного уровня, сетевые модели и смежные графовые методы.

Классические метрики. В работе *Howard*, *Pincus* и *Wing* “Measuring Relative Attack Surfaces” [4] предложена относительная метрика сравнения систем по трем группам измерений: цели и средства атаки, каналы и протоколы, права доступа. Модель носит статический характер: анализ проводится для заданных конфигураций при фиксированной модели угроз. *Manadhata* и *Wing* в работах [5; 6] определили поверхность атаки через тройку $\langle M, C, L \rangle$ (точки входа-выхода, каналы, недоверенные данные) и агрегирование вкладов ресурсов, продемонстрировав применимость на примере *FTP*-демонов. Ограничение обеих работ – фиксированный набор методов, каналов и данных без учета изменчивости сетевой среды.

Сетевые модели. *Zhang*, *Wang*, *Jajodia* и *Singhal* в работе [7] выполнили формальный перенос понятия поверхности атаки на уровень сети через преобразование атакуемости ресурса в вероятность компрометации и агрегирование на байесовской сети. Работа поднимает понятие до сетевого уровня, однако оценивает поверхность атаки на статическом ресурсном графе, без учета динамики разрешенных взаимодействий.

Смежные графовые методы. Анализ графов атак [8] моделирует последовательности эксплуатации уязвимостей и эскалации привилегий, фокусируясь на сценариях компрометации, а не на метрике доступных векторов

воздействия. Подходы анализа достижимости, такие как *GRASP* [9], подчеркивают важность анализа разрешенных взаимодействий, но в рамках верификации политик, а не количественной метрики. Временные графовые модели для обнаружения атак класса *Advanced Persistent Threat (APT)* ориентированы на выявление аномалий, а не на формальную динамическую метрику поверхности атаки.

Таким образом, остается нерешенной задача формального определения динамической метрики поверхности атаки сетевого уровня, которая явно учитывает изменение множества разрешенных взаимодействий во времени, сохраняет структуру классических измерений *Howard* и соавторов и не смешивает измерение атакуемости с оценкой риска.

Предлагаемая модель динамической поверхности атаки

Введем множество U субъектов доступа и множество S защищаемых сервисов. Через K_t обозначим множество разрешенных в момент времени t взаимодействий между элементами этих множеств, отражающее актуальную структуру сетевой достижимости. Динамическая поверхность атаки определяется как функция $AS(t)$, зависящая от K_t и характеризующая совокупность доступных путей воздействия.

В простейшем случае $AS(t)$ задается мощностью K_t :

$$AS_{base}(t) = |K_t| = \sum_{(u,s) \in K_t} 1.$$

Каждая достижимая пара $(u, s) \in K_t$ интерпретируется как отдельный вектор воздействия, а рост числа разрешенных взаимодействий непосредственно связывается с ростом поверхности атаки. Однако базовая метрика $|K_t|$ не различает качество доступа: одна и та же пара (u, s) может реализовываться через открытый канал без аутентификации либо через изолированный туннель с многофакторной проверкой. Для учета атакуемости вектора вводится весовая функция $w(u, s, t)$, характеризующая свойства механизма доступа, а не последствия компрометации. Это сохраняет соответствие классическому определению поверхности атаки, где метрика строится на измерении ресурсов, каналов и прав, а не на оценке риска.

Таблица 1. Шкалы нормализации компонентов весовой функции

Уровень P	P	Канал C	C	Аутентификация A	A
Административный (<i>root</i>)	1,0	Открытый канал (без шифрования)	1,0	Анонимный / отсутствует	1,0
Чтение и запись	0,5	<i>TLS</i> / <i>IPsec</i>	0,5	Пароль	0,5
Только чтение	0,1	<i>VPN</i> / защищенный сегмент	0,1	<i>MFA</i> + сертификат устройства	0,1
Доступ запрещен	0	Изолированный канал	0	Недостижимый субъект	0

Предлагается аддитивная декомпозиция:

$$w(u, s, t) = \alpha P(u, s, t) + \beta C(u, s, t) + \gamma A(u, s, t),$$

где $\alpha + \beta + \gamma = 1$, а компоненты:

– $P(u, s, t) \in [0; 1]$ – уровень привилегий (измерение методов по *Howard*): чем выше привилегии, тем больший контроль у нарушителя при успешной атаке;

– $C(u, s, t) \in [0; 1]$ – открытость канала (измерение каналов): открытый канал максимально атакуем, *VPN*-туннель минимизирует доступность;

– $A(u, s, t) \in [0; 1]$ – обратная строгость аутентификации (измерение данных/доверия): анонимный доступ – максимальный вклад, *MFA* с проверкой устройства – минимальный.

Шкалы нормализации приведены в табл. 1.

Выбор трех компонентов следует классификации *Howard* [4]: P – методам, C – каналам, A – данным/доверию. Аддитивная форма обеспечивает линейность и независимость вклада каждого фактора, что упрощает анализ чувствительности. Мультипликативная форма обнуляла бы вес при любом нулевом компоненте, что неадекватно для сетевого уровня (изолированный канал с административными правами сохраняет ненулевую атакуемость). Значения 1,0, 0,5 и 0,1 используются как опорная нормализация трех уровней (высокий, средний, низкий) и допускают уточнение через экспертные процедуры или эмпирическую калибровку. Параметризация $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$ принята как нейтральный базовый случай.

Граничные случаи: $w = 1$ – максимально атакуемый вектор; $w \rightarrow 0$ – предельное исчезновение вклада при формальном сохранении доступа в политике. При одинаковых свойствах всех взаимодействий $w = \text{const}$ и $AS(t) = \text{const}|K_t|$.

Взвешенная динамическая поверхность

атаки:

$$AS_w(t) = \sum_{(u,s) \in K_t} w(u, s, t).$$

Каждый элемент суммы отражает атакуемость конкретного механизма доступа, а не просто факт его наличия.

Для анализа поведения системы во времени вводится усредненная метрика на интервале $[T_1, T_2]$:

$$AS_{w,[T_1,T_2]} = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} AS(t) dt$$

и ее дискретная аппроксимация по снимкам состояния в моменты $t_i, \dots, t_n$:

$$AS_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{(u,s) \in K_{t_i}} w(u, s, t_i)$$

при неравномерной дискретизации – взвешенное среднее с учетом длительности состояний. Дискретная форма пригодна для анализа журналов событий, таблиц маршрутизации и политик доступа.

Ключевое отличие модели: перенос фокуса с фиксированного множества ресурсов на изменяющееся во времени множество разрешенных взаимодействий и трактовка поверхности атаки как функции операционного состояния системы, а не только как структурной характеристики.

Модельная проверка на сценарии перехода $VPN \rightarrow ZTNA$

Рассмотрен трехшаговый сценарий перехода от классической *VPN*-архитектуры к *ZTNA* с

двумя субъектами (u_1 – внешний администратор, u_2 – внутренний сотрудник) и двумя сервисами s_1, s_2 . Параметры: $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$. Базовый подход для сравнения – $AS_{base}(t) = |K_t|$.

Состояние t_1 (VPN).

- (u_1, s_1): *admin*, интернет, пароль $\rightarrow P = 1,0; C = 1,0; A = 0,5 \rightarrow w \approx 0,833$;
- (u_1, s_2): *read-only*, интернет, пароль $\rightarrow P = 0,1; C = 1,0; A = 0,5 \rightarrow w \approx 0,533$;
- (u_2, s_1): *read-only*, корпсеть, MFA $\rightarrow P = 0,1; C = 0,1; A = 0,1 \rightarrow w = 0,1$;
- (u_2, s_2): *read-only*, корпсеть, MFA $\rightarrow w = 0,1$.

$$AS_{base}(t_1) = 4, \quad AS_w(t_1) \approx 1,566.$$

Состояние t_2 (изменение политики): u_1 теряет доступ к s_1 , u_2 получает запись на s_2 .

- (u_1, s_2): *read-only*, интернет, пароль $\rightarrow w \approx 0,533$;
- (u_2, s_1): *read-only*, корпсеть, MFA $\rightarrow w = 0,1$;
- (u_2, s_2): *write*, корпсеть, MFA $\rightarrow P = 0,5; C = 0,1; A = 0,1 \rightarrow w \approx 0,233$.

$$AS_{base}(t_2) = 3, \quad AS_w(t_2) \approx 0,866.$$

Состояние t_3 (ZTNA): u_1 подключается через защищенный сессионный канал с MFA, только *read-only* к s_2 .

- (u_1, s_2): *read-only*, VPN, MFA $\rightarrow P = 0,1; C = 0,1; A = 0,1 \rightarrow w = 0,1$;
- (u_2, s_1): *read-only*, корпсеть, MFA $\rightarrow w = 0,1$;
- (u_2, s_2): *write*, корпсеть, MFA $\rightarrow w \approx 0,233$.

$$AS_{base}(t_3) = 3, \quad AS_w(t_3) \approx 0,433.$$

Усредненные значения:

$$\overline{AS}_{base} = (4+3+3)/3 \approx 3,33,$$

$$\overline{AS}_w = (1,566 + 0,866 + 0,433)/3 \approx 0,955.$$

Результаты и обсуждение

Результаты подтверждают гипотезу: взвешенная метрика различает состояния, неразличимые для базовой. Базовая метрика фиксирует лишь сокращение числа пар на переходе $t_1 \rightarrow t_2$, но дает одинаковое значение для t_2 и t_3 (по три пары). Взвешенная метрика монотонно

снижается ($1,566 \rightarrow 0,866 \rightarrow 0,433$), отражая усиление защиты. Снижение вдвое на переходе $t_2 \rightarrow t_3$ объясняется переводом внешнего пользователя u_1 с открытого канала с парольной аутентификацией ($C = 1,0, A = 0,5$) на VPN-туннель с MFA ($C = 0,1, A = 0,1$) при ограничении привилегий до *read-only*.

Наибольший эффект достигается за счет одновременного улучшения канала и аутентификации для внешних пользователей – наиболее уязвимых субъектов. Различие вкладов пар (u_1, s_1) и (u_1, s_2) в t_1 обусловлено исключительно уровнем привилегий, а не ценностью сервисов, что подтверждает: весовая функция измеряет атакуемость, а не бизнес-критичность. Средняя взвешенная метрика ($\approx 0,955$) почти в 3,5 раза ниже средней базовой ($\approx 3,33$), что количественно характеризует эффект контекстно-зависимых политик ZTNA.

Ограничения и направления дальнейших исследований

Ограничением исследования является модельный характер эксперимента: два субъекта, два сервиса, фиксированные шкалы и равновесная параметризация весов. Не рассматриваются вероятностные аспекты компрометации, эскалация привилегий через цепочки взаимодействий и влияние топологии сети. Результаты не следует интерпретировать как промышленную оценку.

Приведенный сценарий является вычислительным примером и не претендует на промышленную валидацию модели. Его задача – показать различие между базовой метрикой мощности множества разрешенных взаимодействий и взвешенной метрикой атакуемости. Для практического применения модели требуется автоматизированный сбор множества K_t из журналов PEP/SDP/SD-WAN и калибровка весов по данным конкретной инфраструктуры.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на интеграцию с вероятностными моделями компрометации [7], автоматизированный сбор K_t из журналов PEP, программно-определяемых периметров (SDP – *Software-Defined Perimeter*) и программно-определяемых глобальных сетей (SD-WAN – *Software-Defined Wide Area Network*), исследование свойств монотонности $AS(t)$ при типовых перестроениях политик и масштабирование сценария с калибровкой весов на реальных данных.

Заключение

Предложена формальная модель динамической поверхности атаки сетевого уровня, определяющая поверхность атаки как функцию времени от множества разрешенных взаимодействий K_r .

Трехкомпонентная весовая функция $w(u, s, t)$ дифференцирует векторы атак по привилегиям, каналу и аутентификации, сохраняя соответствие классическим измерениям Howard.

Получены мгновенная, усредненная и дискретная метрики, пригодные для вычислительного анализа сетевых политик.

Экспериментальная проверка показала монотонное снижение взвешенной метрики ($1,566 \rightarrow 0,866 \rightarrow 0,433$) при усилении защиты, тогда как базовая метрика $|K_i|$ ($4 \rightarrow 3 \rightarrow 3$) не различает качественно разные состояния. Метрики обеспечивают количественное сравнение архитектур удаленного доступа и оценку эффективности контекстных политик ZTNA.

Литература

1. ГОСТ Р 56498-2015. Сети коммуникационные промышленные. Защищенность (кибербезопасность) сети и системы. Часть 3. Защищенность (кибербезопасность) промышленного процесса измерения и управления. – М. : Стандартинформ, 2015.
2. ГОСТ ISO/IEC TS 19249-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Каталог принципов построения архитектуры и проектирования безопасных продуктов, систем и приложений. – М. : Стандартинформ, 2021.
3. Rose, S. Zero Trust Architecture / S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell, S. Connelly // National Institute of Standards and Technology Special Publication. – 2020. – No. 800-207. – DOI: 10.6028/NIST.SP.800-207.
4. Howard, M. Measuring Relative Attack Surfaces / M. Howard, J. Pincus, J.M. Wing // Computer Security in the 21st Century. – Springer, 2005. – DOI: 10.1007/0-387-24006-3_8.
5. Manadhata, P.K. An Attack Surface Metric / P.K. Manadhata, J.M. Wing // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2011. – Vol. 37. – No. 3. – P. 371–386. – DOI: 10.1109/TSE.2010.60.
6. Manadhata, P.K. Measuring the Attack Surfaces of Two FTP Daemons / P.K. Manadhata, J.M. Wing, M.A. Flynn, M.A. McQueen // Proceedings of the 2006 ACM Workshop on Quality of Protection, 2006. – DOI: 10.1145/1179494.1179497.
7. Zhang, M. Network Attack Surface: Lifting the Attack Surface Concept to Network Level for Evaluating the Resilience Against Zero-day Attacks / M. Zhang, L. Wang, S. Jajodia, A. Singhal // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2018. – DOI: 10.1109/TDSC.2018.2889086.
8. Zeng, J. Survey of Attack Graph Analysis Methods from the Perspective of Data and Knowledge Processing / J. Zeng, S. Wu, Y. Chen, R. Zeng, C. Wu // Security and Communication Networks. – 2019. – Vol. 2019. – DOI: 10.1155/2019/2031063.
9. Polinsky, I. GRASP: Hardening Serverless Applications Through Graph Reachability Analysis of Security Policies / I. Polinsky, P. Datta, A. Bates, W. Enck // Proceedings of the ACM Web Conference 2024 (WWW '24), 2024. – DOI: 10.1145/3589334.3645436.

References

1. GOST R 56498-2015. Seti kommunikatsionnye promyshlennye. Zashchishchennost (kiberbezopasnost) seti i sistemy. CHast 3. Zashchishchennost (kiberbezopasnost) promyshlennogo protsesssa izmereniya i upravleniya. – M. : Standartinform, 2015.
2. GOST ISO/IEC TS 19249-2021. Informatsionnye tekhnologii. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Katalog printsipov postroeniya arkhitektury i proektirovaniya bezopasnykh produktov, sistem i prilozhenij. – M. : Standartinform, 2021.

© А.Л. Петрянкин, Я.С. Гродзенский, 2026

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕГОВОРНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

В.Ю. СКОБЦОВ, С.А. ПОТАПОВ, А.С. ЕФРЕМОВ

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

Ключевые слова и фразы: большие языковые модели; многоагентные системы; переговорный процесс; объектная онтология; событийная онтология; ограниченная рациональность; дополненная рациональность.

Аннотация: Целью настоящего исследования является разработка и программная реализация многоагентной системы (МАС) автоматизации переговорного процесса между покупателем и продавцом на основе больших языковых моделей (БЯМ), обеспечивающей переход от «ограниченной рациональности» человека к «дополненной рациональности» за счет структуризации естественно-языковых запросов и автоматического контроля установленных ограничений. Задачами работы являются: анализ рисков применения БЯМ в переговорах и методов их минимизации, проектирование архитектуры МАС, разработка итерационного алгоритма, сочетающего гибкость генерации текста БЯМ с жесткостью детерминированных проверок параметров сделки, проведение статистического тестирования системы на различных сценариях пересечения интересов сторон, обоснование применения гибридной объектно-событийной онтологии для управления динамикой переговоров. Гипотеза исследования заключается в том, что использование многоагентной архитектуры с БЯМ в сочетании с гибридным контуром контроля позволяет эффективно автоматизировать торги, соблюдая все заданные пользователем жесткие ограничения и преодолевая когнитивные искажения, свойственные человеку. Использовались такие методы исследования, как многоагентное моделирование, применение технологий искусственного интеллекта, алгоритмическое управление и онтологический подход. В результате исследования разработана и реализована программно-алгоритмическая МАС, поддерживающая полный цикл переговоров от регистрации до утверждения условий, на основе алгоритма итерационного торга и системы «Критик-Агент»; тестирование показало 100 % успех достижения соглашений в сценариях с пересекающимися ценовыми диапазонами при условии соблюдения всех требований сторон; предложен гибридный подход к хранению знаний, объединяющий свойства объектов и динамическую историю событий, что повышает прозрачность автоматизированных переговоров для бизнеса.

Введение

Современное развитие информационных технологий открывает новые горизонты для внедрения автоматизированных информационных систем в разные сферы жизни. Заметный прогресс технологий искусственного интеллекта и больших языковых моделей (БЯМ), в частности, может позволить упростить обработку и структуризацию запросов пользователей на естественном языке [1]. Одной из предметных областей, в которой преобладает передача ин-

формации на естественном языке, являются переговоры купли-продажи. Продавец предлагает товары и цены, в рамках которых он готов пойти на торг, а покупатель обозначает свой запрос и бюджет. Процесс автоматизации может позволить ускорить достижение договоренности в рамках переговоров, а также эффективнее достигать наиболее выгодных условий для обеих сторон [2]. В современной теории управления принятие решений традиционно рассматривается через призму концепции «ограниченной рациональности» Г. Саймона, согласно кото-

рой когнитивные ресурсы человека, временные рамки и фрагментированность информации препятствуют поиску оптимальных решений, вынуждая субъектов ограничиваться стратегией «удовлетворенности». Применение БЯМ позволяет расширить границы человеческой рациональности, переходя к парадигме «дополненной рациональности». Модели способны обрабатывать массивы гетерогенных данных и генерировать широкое пространство альтернатив, недостижимое в рамках ограниченных человеческих возможностей [3]. Однако применение БЯМ также может быть связано с некоторыми ограничениями: деградацией контекста в длинных диалогах, галлюцинациями, нарушениями политик безопасности [4–6]. Для минимизации влияния данных факторов на работу системы могут использоваться временные ограничения, детерминированные проверки по ранее заданному набору правил [7].

Постановка задачи: разрабатываемая система должна обеспечивать автоматизацию переговорного процесса между покупателем и продавцом. Система должна помогать пользователям формализовать исходные требования, вести переговорный обмен предложениями, проверять исходящие предложения на соответствие требованиям и сохранять историю переговоров в структурированном виде для обеспечения проверяемости результата.

Многоагентная система автоматизации переговорного процесса на основе БЯМ

В целях автоматизации переговорного процесса была разработана многоагентная система на основе БЯМ с применением архитектурного подхода «Торг» [8]. Под агентами в данной системе подразумеваются изолированные обращения к БЯМ с отдельными системными сообщениями, в которых перечисляются роли, задачи и ограничения, которые должна учитывать БЯМ в своих ответах. Данные агенты в системе лишены автономности, то есть не могут пользоваться никакими инструментами, имея возможность только возвращать текстовый ответ. Такое ограничение на первых стадиях развития системы введено для предсказуемости и контролируемости поведения БЯМ.

Система представляет собой клиент-серверное приложение. При регистрации в системе пользователь-покупатель или пользователь-продавец проходят интервью с *onboarding*-агентом

(от англ. *onboarding* – «адаптация»), в рамках которого пользователя опрашивают о том, что он хочет купить или продать, а также о ценовых предпочтениях и ограничениях.

Далее пользователю предоставляется возможность выбрать контрагента (другого пользователя с противоположной ролью – продавца для покупателя или покупателя для продавца) для начала переговорной сессии. В рамках переговорной сессии на стороне покупателя и на стороне продавца выступают БЯМ-агенты, представляющие их интересы.

Алгоритм автоматизации переговорного процесса

Переговорный процесс описывается следующей последовательностью шагов:

1) агент покупателя формирует структурированное предложение к продавцу (желаемый товар и предпочтения, ценовые и иные ограничения);

2) агент, проверяющий предложение агента покупателя, проводит анализ выдвинутого предложения и в случае выявления нарушений требований покупателя передает эту информацию с целью повторной генерации предложения агенту покупателя (проверка производится как с помощью детерминированных правил, так и с помощью БЯМ);

3) агент продавца получает структурированное предложение от агента покупателя и на основе него формирует свое структурированное предложение;

4) агент, проверяющий предложение агента продавца, проводит анализ выдвинутого предложения и в случае выявления нарушений требований продавца передает информацию о несоответствии агенту продавца с целью повторной генерации предложения агенту продавца (проверка производится как с помощью детерминированных правил, так и с помощью БЯМ);

5) агент-модератор рассматривает предложения обеих сторон и выносит вердикт о достижении соглашения; если соглашение не достигнуто, то происходит переход на следующий раунд (число раундов ограничено); если соглашение достигнуто или достигнуто максимальное число раундов, пользователям приходит уведомление о достижении промежуточного соглашения: если все пользователи согласны, то переговорный процесс завершается, иначе

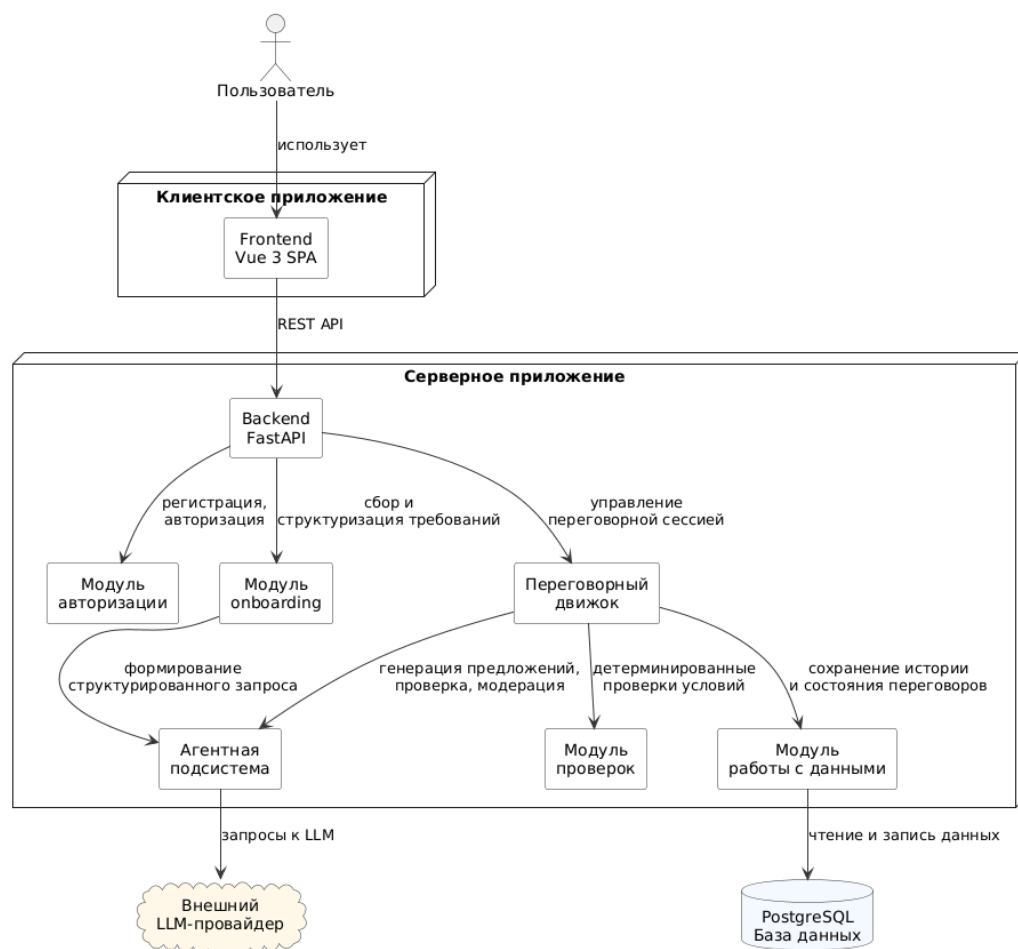


Рис. 1. Компонентная диаграмма

несогласные пользователи приводят комментарии, которые поступают на новую итерацию со сброшенным числом раундов, число итераций ограничено.

Структурированные предложения представляются в виде *JSON*-объектов.

Технологический стек

Серверная часть: *FastAPI*, *SQLAlchemy*, *AgentScope* для инкапсуляции вызовов к БЯМ.

Клиентская часть: *Vue.js*.

Компонентная диаграмма системы изображена на рис. 1.

Тестирование

В целях оценки эффективности и детерминированности разработанной системы было проведено автоматическое тестирование. Сценарии тестирования были разбиты на 4 группы:

1) диапазоны цен покупателя и продавца пересекаются, атрибуты покупателя полностью

покрываются продавцом;

2) максимальная цена покупателя строго ниже минимальной цены продавца;

3) диапазоны цен покупателя и продавца пересекаются, но не все атрибуты покупателя покрываются продавцом;

4) разница между максимальной ценой покупателя и минимальной ценой продавца составляет не более 5 % от минимальной цены продавца, атрибуты покупателя полностью покрываются продавцом.

В рамках тестирования максимальное число раундов за итерацию составляло 3, максимальное число итераций – 3.

Результаты автоматического тестирования (модель БЯМ: *Qwen3.6-35B-A3B*) представлены в табл. 1.

Результаты автоматического тестирования показывают, что система стабильно приходит к соглашению в сценариях, где не требуется вмешательство от покупателя или продавца.

Таблица 1. Результаты автоматического тестирования

Группа	Число запусков	Процент соглашений	Среднее число раундов	Среднее время сессии, с
1	6	100 %	1,0	18,3
2	6	0 %	9,0	285
3	6	0 %	9,0	129,8
4	7	100 %	1,0	20,4
Все группы	25	50 %	5,0	113,4

Система ожидаемо не приходит к соглашению в случае несовпадения требований покупателя и предложений продавца. Важно отметить, что скорость работы системы напрямую зависит от производительности используемой БЯМ, а также технических характеристик сервера.

Перспективные направления дальнейшего развития

Пространство контрагентов

В текущем состоянии система предоставляет возможность для переговоров только с заранее выбранным контрагентом. Для предоставления наиболее релевантных контрагентов, исследования большего пространства предложений предлагается использование графовых баз данных с расчетом близости между узлами (контрагентами) [9].

Технология RAG

Для использования в подборе пар покупатель-продавец, а также при переговорном процессе спецификаций товаров, расценок и прочих документов предлагается использование технологии **RAG** (*Retrieval-Augmented Generation*), позволяющей предоставлять агентам БЯМ полную информацию о предложениях покупателей и связанных с ними ограничениях путем получения информации из соответствующих баз данных [10].

Объектно-событийная онтология

Еще в начале 2000-х гг. группа ученых из Ливерпульского университета исследовала автоматизацию переговорного процесса на основе построения объектной онтологии [11]. Под объектной онтологией понимается совокупность сущностей предметной области, их свойств и связей между ними. Использование онтологии позволяет задавать правила и стратегии переговоров путем динамической загрузки не-

обходимых данных, а не перепрограммирования системы [11]. Однако объектная онтология рассматривает систему только в статическом виде, из-за чего при переговорах в конкретной предметной области может быть утеряна информация о динамике предложений от раунда к раунду. Ответом на данную проблему может послужить применение событийной онтологии, в которой основными элементами являются события и динамическое изменение объектов (предложений в рамках переговоров) [12]. Наибольшую практическую ценность может иметь именно гибридный подход в виде объектно-событийной модели состояния переговоров, поскольку он превращает торг между агентами покупателя и продавца из набора разрозненных сообщений в управляемый процесс. Такая модель фиксирует не только участников, запросы, предложения, ограничения и условия сделки, но и каждое значимое событие: изменение цены, уступку, отказ, уточнение требования, подтверждение или срыв переговоров. Благодаря этому система всегда понимает текущее состояние сделки, причины его изменения и допустимые дальнейшие действия. Для бизнеса это особенно важно, так как повышается прозрачность переговоров, снижается риск ошибочных решений агентов, появляется возможность аудита, анализа неудачных сделок и последующей оптимизации стратегии торга. Именно это является направлением текущих активных исследований авторов данной статьи для создания прикладных систем для бизнеса.

Заключение

Автоматизация переговорного процесса на основе БЯМ может значительно повысить эффективность процесса переговоров и ускорить достижение соглашения между покупателем и

продавцом. Разработанная система показывает практическую значимость за счет выделения структурированных данных из формулировок пользователей на естественном языке и дальнейшем использовании их в переговорах между агентами, где участие пользователей ограничивается только внесением замечаний к промежуточным результатам. Система лишь частично затрагивает возможное решение проблемы

«ограниченной рациональности», открывая целый спектр направлений для новых исследований.

Дальнейшая работа над системой будет посвящена расширению объема информации, предоставляемого агентам БЯМ путем технологии RAG, а также внедрению подходов обработки информации на основе событийных онтологий знаний.

Результаты получены в том числе в рамках НИР FREM-2026-0006.

Литература

1. Горбунов, Р.А. Исследование возможностей больших языковых моделей для извлечения данных из текстов на естественном языке / Р.А. Горбунов, А.В. Вицентий // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. – 2025. – Т. 16. – № 3. – С. 80–105. – DOI: 10.37614/2949-1215.2025.16.3.006.
2. Patel, A. Intelligent Bargaining Agents in Digital Marketplaces: A Fusion of Reinforcement Learning and Game-Theoretic Principles / A. Patel, A. Mishra // International Journal of Advanced Artificial Intelligence Research. – 2025. – Vol. 2. – No. 3. – P. 6–12. – DOI: 10.55640/ijaaair-v02i03-02.
3. Shen, L. The Application of LLMs in Frontline Management and Its Theoretical Implications / L. Shen // Proceedings of the 5th International Conference on Management Science and Software Engineering (ICMSSE 2025). – Atlantis Press, 2025. – P. 47–56. – DOI: 10.2991/978-94-6463-958-2_7.
4. Laban, P. LLMs Corrupt Your Documents When You Delegate / P. Laban, T. Schnabel, J. Neville. – 2026 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/2604.15597>
5. Cemri, M. Why Do Multi-Agent LLM Systems Fail? / M. Cemri, M.Z. Pan, S. Yang, et al. – 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/2503.13657>.
6. Lin, X. LLM-based Agents Suffer from Hallucinations: A Survey of Taxonomy, Methods, and Directions / X. Lin, Y. Ning, J. Zhang, et al. – 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/2509.18970>.
7. Kamath, A. Enforcing Temporal Constraints for LLM Agents / A. Kamath, S. Zhang, C. Xu, et al. – 2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/2512.23738>.
8. Потапов, С.А. Обзор архитектурных моделей многоагентных систем с большими языковыми моделями / С.А. Потапов // Робототехника и искусственный интеллект. – Красноярск : ЛИТЕРА-принт, 2025. – С. 233–239.
9. Oprea, S.-V. Graph-Based User-Centric Recommender System Using Neo4j, Cypher, and Jaccard Similarity in the Field of e-Commerce / S.-V. Oprea, A. Bara // IEEE Access. – 2025. – Vol. 13. – P. 135089–135097. – DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3591705.
10. Науменко, А.О. Технология RAG (Retrieval-Augmented Generation) как инновационный подход в LLM / А.О. Науменко // Вестник науки. – 2025. – Т. 5. – № 8(89).
11. Tamma, V. An Ontology Based Approach to Automated Negotiation / V. Tamma, M. Wooldridge, I. Blacoe, I. Dickinson // Agent-Mediated Electronic Commerce IV. Designing Mechanisms and Systems. – 2002. – Vol. 2531. – P. 219–237. – DOI: 10.1007/3-540-36378-5_14.
12. Zhenhai, L. EOAC-LLM: An LLM-Driven Event Ontology Automatic Construction System / L. Zhenhai, Y. Jungang, G. Chang, Z. Chao, L. Yao // Intelligent Systems with Applications. – 2026. – Vol. 30. – DOI: 10.1016/j.iswa.2026.200650.

References

1. Gorbunov, R.A. Issledovanie vozmozhnostej bolshikh yazykovykh modelej dlya izvlecheniya dannykh iz tekstov na estestvennom yazyke / R.A. Gorbunov, A.V. Vitsentij // Trudy Kolskogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2025. – T. 16. – № 3. – S. 80–105. – DOI:

10.37614/2949-1215.2025.16.3.006.

8. Potapov, S.A. Obzor arkhitekturnykh modelej mnogoagentnykh sistem s bolshimi yazykovymi modelyami / S.A. Potapov // Robototekhnika i iskusstvennij intellekt. – Krasnoyarsk : LITERA-print, 2025. – S. 233–239.

10. Naumenko, A.O. Tekhnologiya RAG (Retrieval-Augmented Generation) kak innovatsionnij podkhod v LLM / A.O. Naumenko // Vestnik nauki. – 2025. – T. 5. – № 8(89).

© В.Ю. Скобцов, С.А. Потапов, А.С. Ефремов, 2026

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОДСИСТЕМ РЕНДЕРИНГА SKIA И IMPELLER ВО FLUTTER ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РАЗНЫХ КЛАССОВ

П.А. СТЕПАНОВ, Д.П. УШАКОВ, А.В. КОЗЛОВ, М.А. КОЧЕМИРОВ

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

Ключевые слова и фразы: *Flutter*; *Impeller*; *Skia*; рендеринг; производительность мобильных приложений; время кадра; холодный старт; графические бэкенды.

Аннотация: Переход *Flutter* с подсистемы рендеринга *Skia* на *Impeller* призван устранить рывки анимации, вызванные компиляцией шейдеров (*shader compilation jank*), однако воспроизводимых сравнений подсистем на устройствах разных классов недостаточно. Объект исследования – производительность рендеринга UI во *Flutter*, предмет – ее количественные характеристики (время растеризации, предсказуемость кадра, холодный старт) для подсистем *Skia* и *Impeller* на устройствах разных классов. Цель исследования – получить воспроизводимую эмпирическую оценку производительности подсистем рендеринга *Skia* и *Impeller* и установить, как их соотношение зависит от сценария нагрузки и класса устройства. Задачи исследования: разработать управляемое приложение-стенд с набором нагрузочных и проблемных сценариев; измерить покадровые метрики и время холодного старта на устройствах разных классов в контролируемых условиях; провести статистическое сравнение подсистем; соотнести выявленные различия с их архитектурой. Гипотеза исследования: преимущество *Impeller* сосредоточено не в типичном кадре, а в хвосте распределения времени кадра (худший кадр) за счет переноса компиляции шейдеров на этап сборки, при этом оно не универсально и зависит от класса устройства и сценария нагрузки. Методы: контролируемый эксперимент на двух *Android*-устройствах разного класса (*iPhone 15 Pro* на *Metal* – описательный ориентир), покадровые измерения через *FrameTiming*, непараметрическая статистика по 99-м перцентилям отдельных прогонов (критерий Манна – Уитни, дельта Клиффа). Результаты подтверждают гипотезу: на устройстве высшего класса медианы *Skia* и *Impeller* близки, тогда как на холодном проходе худший кадр *Skia* в несколько раз превышает *Impeller*; направление преимущества зависит от устройства и сценария (в установившихся сценариях на GPU высшего класса чаще быстрее *Impeller*, на GPU среднего сегмента – *Skia*); *Impeller-OpenGL ES* стартует в 3,6–4,3 раза медленнее – издержки перенесены со времени выполнения на время запуска. Выявленные случаи преимущества *Skia* очерчивают издержки безальтернативного перехода для бэкенда *OpenGL ES* и устройств среднего сегмента.

Введение

Flutter – один из основных фреймворков кроссплатформенной разработки мобильных приложений: он позволяет вести разработку под *Android* и *iOS* из единой кодовой базы и использует собственную подсистему рендеринга [10]. Производительность остается слабым местом

подхода [6; 9], и для приложений с интенсивной анимацией определяющей характеристикой становится плавность (отсутствие кадров, выпадающих за бюджет отрисовки), а не средняя частота кадров [13].

До перехода на *Impeller* основным источником неплавности была компиляция шейдеров: *Skia* компилирует шейдер при первом обращении

нии во время выполнения, что дает одиночный рывок анимации – *shader compilation jank* [5]. *Impeller* компилирует шейдеры заранее, на этапе сборки [5], на *iOS* он включен по умолчанию с версии 3.10, на *Android* (API 29+) – с версии 3.27, а на устройствах без рабочего *Vulkan* с версии 3.29 переключается не на *Skia*, а на собственный бэкенд *OpenGL ES* [5]. Возможность принудительно вернуться на *Skia* на *Android* пока сохраняется, но в документации заявлена к удалению в будущих релизах [3].

Воспроизводимого сравнения *Skia* и *Impeller* на устройствах разных классов, с акцентом на хвост распределения времени кадра и изоляцию *shader compilation jank*, при этом недостаточно [1; 6; 7; 9; 12].

Гипотеза исследования: преимущество *Impeller* сосредоточено не в типичном кадре, а в хвосте распределения времени кадра (худший кадр) за счет переноса компиляции шейдеров на этап сборки, при этом оно не универсально и зависит от класса устройства и сценария нагрузки.

Цель исследования – получить воспроизводимую эмпирическую оценку и сравнение производительности подсистем рендеринга *Skia* и *Impeller* во *Flutter* и установить, как их соотношение зависит от сценария нагрузки и класса устройства. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: разработать управляемое приложение-стенд с набором нагрузочных и проблемных сценариев рендеринга; измерить покадровые метрики и время холодного старта на устройствах разных классов в контролируемых условиях; провести статистическое сравнение подсистем непараметрическими методами с оценкой размера эффекта; соотнести выявленные различия с их архитектурой и установить, при каких сценариях и классах устройств меняется соотношение их производительности.

Материалы и методы исследования

Сценарии тестирования. Управляемый стенд с детерминированной синтетической нагрузкой; дерево виджетов в обоих случаях совпадает, поэтому различия локализуются в потоке растеризации. Пять сценариев изолируют по одному эффекту: *T1* – прокрутка списка в двух вариантах (текстовый нагружает поток построения кадра, декорированный – растеризацию); *T2* – отрисовка с интенсивным ис-

пользованием шейдеров (размытие, фильтры, градиенты, тени), затрагивает разницу стратегий компиляции шейдеров: *Skia* – во время выполнения, *Impeller* – на этапе сборки [5]; *T3* – переходы с *hero*-анимацией, пиковая нагрузка на композицию; *T4* – платформенные представления, путь композиции платформенного слоя, где у *Impeller* зафиксировано ухудшение производительности [4]; *T5* – холодный старт на свежем запуске процесса. Ввод воспроизводится средствами *integration test*.

Конфигурация. Все измерения выполнены на *Flutter* 3.41.1 (*Dart* 3.11.0), версия зафиксирована для обеих сравниваемых подсистем. В сравнение вошли два *Android*-устройства разного класса: *OnePlus 8* (*Adreno* 650, устройство высшего класса 2020 года) и *Samsung Galaxy A60* (*Adreno* 612, средний сегмент). Оба работали на бэкенде *Impeller-OpenGL ES* – аппаратный *Vulkan* на доступном устройстве инициализировался аварийно и происходил переход на *OpenGL ES*. *iPhone 15 Pro* (*Metal*, *iOS* 26) добавлен как описательная точка для *Metal* и в статистическое сравнение *Skia* и *Impeller* не входит, так как на *iOS* *Skia* недоступен. Статистический вывод, таким образом, опирается на два устройства при одном бэкенде.

Метрики и инструменты. Покадровые тайминги – подписка на *FrameTiming* с разбором времени построения кадра (поток пользовательского интерфейса) и времени растеризации (поток *GPU*); разделение соответствует модели жизненного цикла кадра [13]. Ведущая величина – время растеризации, поскольку построение кадра от подсистемы почти не зависит. По массивам кадров вычисляются худший кадр, 99-й перцентиль и доля кадров с превышением бюджета (16,7 мс при 60 Гц, 11,1 мс при 90 Гц, 8,3 мс при 120 Гц) [11]. Ведущая метрика – худший кадр, а не средняя частота: неплавность относится к хвосту, и одиночный поздний кадр почти не смещает среднее [11; 13]. Холодный старт – время до первого кадра и время растеризации первого кадра.

Статистическая обработка и контроль помех. Число повторностей зависело от роли устройства в анализе. Для двух *Android*-устройств, которые сравнивались статистически, выполнялось по пять прогонов на каждое сочетание «сценарий – бэкенд», холодный старт – по десять. *iPhone 15 Pro* в это сравнение не входит, устройство служит только описательным ориентиром для *Metal*. По нему вы-

Таблица 1. Установившееся время растеризации на *Android*, мс

Сценарий	Устройство	Подсистема	Медиана	<i>p99</i>	Худший	Пропуски, %
Прокрутка, декорированный список	<i>OnePlus 8</i>	<i>Skia</i>	2,5	5,2	15,25	0,27
		<i>Impeller</i>	2,39	4,44	5,43	0
	<i>Samsung A60</i>	<i>Skia</i>	3,31	5,69	10,61	0
		<i>Impeller</i>	3,62	12,24	15,52	0,23
Прокрутка, текстовый список	<i>OnePlus 8</i>	<i>Skia</i>	2,5	4,38	6,38	23,36
		<i>Impeller</i>	3,21	5,59	17,49	24,48
	<i>Samsung A60</i>	<i>Skia</i>	3,58	6,62	11	5,66
		<i>Impeller</i>	5	9,01	25	8,62
Переходы и <i>hero</i>	<i>OnePlus 8</i>	<i>Skia</i>	4,86	9,26	22,17	15,24
		<i>Impeller</i>	3,29	5,67	6,85	3,35
	<i>Samsung A60</i>	<i>Skia</i>	5,81	10,42	15,55	1,54
		<i>Impeller</i>	4,69	11,3	31,38	1,36

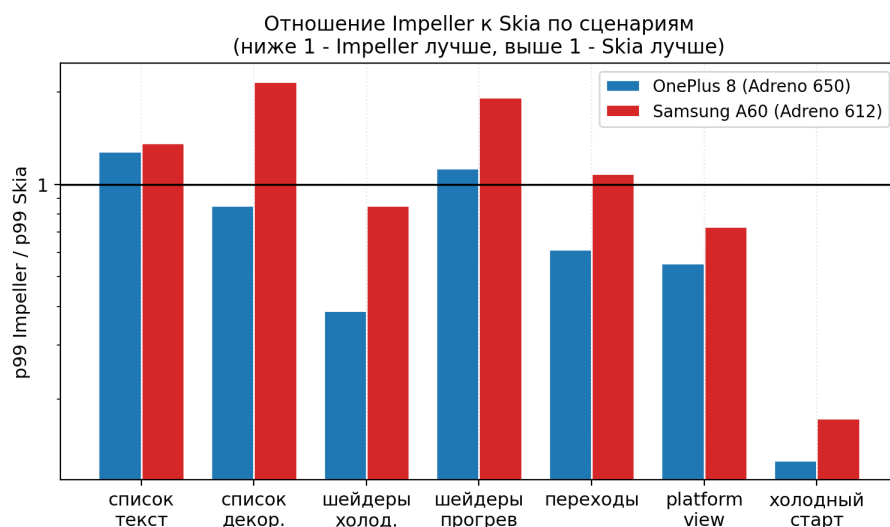


Рис. 1. Отношение 99-го перцентиля времени растеризации *Impeller* к *Skia* по сценариям и устройствам

полнено три прогона в покадровых сценариях и девять для времени до первого кадра, и выводы по нему остаются описательными, без критериев значимости. Для установившихся сценариев первые кадры отбрасываются как период прогрева, для холодного старта сохраняются, кэш приложения очищается перед каждым прогоном. Распределения имеют тяжелые хвосты, поэтому применяются устойчивые статистики, единица повторности – прогон: сравниваются 99-е перцентили отдельных прогонов (кадры внутри прогона автокоррелированы), критерий

Манна – Уитни [8], размер эффекта – дельта Клиффа [2]. В сравнениях, где в меньшей группе было не более восьми прогонов и не было совпадающих значений, применяли точный критерий, а в остальных – нормальную аппроксимацию с поправкой на непрерывность. При пяти прогонах дельта Клиффа принимает крайнее значение ± 1 , как только все прогоны одной подсистемы лежат по одну сторону от прогонов другого. Это показывает устойчивость направления, но не величину разрыва. Размер различия мы читаем по отношению *p99* отдельных

Таблица 2. Холодный старт: растеризация первого прохода и время до первого кадра

Устройство	Подсистема	Медиана раст., мс	$p99$, мс	Худший, мс	Пропуски, %	Время до 1-го кадра, мс
OnePlus 8	Skia	3,9	144,97	158,9	7,14	171,14
	Impeller	3,51	18,24	23,5	5,71	738,05
Samsung A60	Skia	5,35	261,94	269,91	11,67	343,51
	Impeller	18,32	45,26	55,52	68,57	1229,7
iPhone 15 Pro	Impeller-Metal	1,45	58,4	62,41	7,94	70,54



Рис. 2. Время растеризации по кадрам на холодном проходе, OnePlus 8, логарифмическая шкала

прогонов. Яркость и режим полета между прогонами постоянны, тепловое состояние специально не выравнялось и не измерялось. Активный бэкэнд подтверждался по журналу подсистемы.

Результаты исследования

В установившихся сценариях (табл. 1) направление преимущества зависит от устройства. На OnePlus 8 Impeller дает меньший худший кадр в прокрутке декорированного списка и в переходах при заметно меньшей доле пропусков ($p = 0,008$, $\delta = -1,0$). На Samsung A60 преимущество устойчиво на стороне Skia — в прокрутке декорированного и текстового списков ($p = 0,008$, $\delta = +1,0$), а в переходах различие незначимо ($p = 0,84$).

На текстовом списке время растеризации низко у обеих подсистем, а доля пропусков на

OnePlus 8 почти одинакова (около 24 %) и определяется потоком построения кадра, а не подсистемой. Смену направления иллюстрирует рис. 1: значения ниже единицы означают преимущество Impeller, выше — Skia.

Наибольшие различия наблюдаются на холодном старте (табл. 2). Худший кадр первого прохода у Skia превышает Impeller (158,90 против 23,50 мс на OnePlus 8; 269,91 против 55,52 мс на Samsung A60), тогда как на OnePlus 8 медианы почти совпадают: различие сосредоточено в первом кадре, а не в установившемся уровне ($p = 0,0002$, $\delta = -1,0$; рис. 2). Сценарий с высокой шейдерной нагрузкой подтверждает картину: на холодном проходе хвост Skia тяжелее ($p = 0,008$), а на прогретом проходе различие на OnePlus 8 исчезает ($p = 0,056$), тогда как на Samsung A60 быстрее остается Skia ($p = 0,008$).

Время до первого кадра показывает об-

ратное соотношение: оно существенно выше у *Impeller-OpenGL ES* (738 против 171 мс на *OnePlus 8*; 1230 против 344 мс на *Samsung A60*; $p = 0,0002$, $\delta = +1,0$), тогда как на *iPhone 15 Pro* с *Metal* составляет 70 мс.

На платформенных представлениях заявленное в системе отслеживания ошибок снижение производительности *Impeller* не воспроизвелось: на *OnePlus 8* *Impeller* быстрее ($p = 0,008$, $\delta = -1,0$), на *Samsung A60* – быстрее по хвосту, но незначимо ($p = 0,15$). Доля пропусков близка к нулю у *Skia* и *Impeller*.

Бэкенд *Metal* на *iPhone 15 Pro* дал наименьшее время растеризации во всех установленных сценариях: медиана растеризации 0,66–2,1 мс против 2,39–14,9 мс на *Android* (прокрутка декорированного списка 0,66; текстового – 1,03; переходы 1,05; платформенные представления 0,69 мс). Это самое мощное устройство выборки, и вклад бэкенда от аппаратуры здесь не отделить, а три прогона дают лишь описательную трактовку.

Обсуждение

Связь результатов с архитектурой подсистем

Наибольшее из измеренных различий – всплеск первого кадра на холодном проходе – прямо следует из различия в работе подсистем с шейдерами: *Skia* компилирует шейдер при первом обращении во время выполнения, попадая в критический по времени участок обработки кадра, тогда как *Impeller* выполняет компиляцию на этапе сборки [5]. С этим согласуется и то, что выигрыш сосредоточен в хвосте распределения, а не в его центре: медианы подсистем на холодном проходе практически совпадают, тогда как худший кадр заметно различается. Контраст холодного и прогретого проходов подтверждает интерпретацию – на прогретом проходе хвост *Skia* спадает и различие теряет значимость ($p = 0,056$), то есть затраты однократно и соответствуют стоимости компиляции.

Снижение худшего кадра в установившихся сценариях на *OnePlus 8* объясняется тем же отсутствием поздней компиляции, уменьшающим разброс времени кадра. Преимущество, однако, зависит от устройства и на *Samsung A60* не воспроизводится: архитектура определяет, где предсказуемость возникает, но не делает ее независимой от аппаратуры.

Тем же объясняется обратное соотношение

по времени холодного старта. Время до первого кадра у *Impeller-OpenGL ES* выше (738 против 171 мс на *OnePlus 8*), а растеризация первого кадра, напротив, ниже. Перенос компиляции и построения графического конвейера на этап запуска удлиняет старт, но устраняет позднюю компиляцию во время выполнения; *Skia* запускается быстрее, однако издержки проявляются позже – во всплеске первого кадра. Обе метрики описывают один компромисс: стоимость, перенесенную со времени выполнения на время запуска.

Прямой выход на платформенный API – второй заявленный механизм *Impeller* – по полученным данным изолировать нельзя: бэкенд *Vulkan* не покрыт, а точка *Metal* совмещена с самым мощным устройством выборки. Перенос компиляции к тому же снижает, но не обнуляет стоимость первого кадра – *Impeller-Metal* на *iPhone 15 Pro* сохраняет остаточный всплеск (62,41 мс, три повтора), что указывает на ненулевую стоимость начальной настройки конвейера.

Сценарии, где *Skia* остается предпочтительнее

Преимущество *Impeller* неравномерно, и в части сценариев ниже оказывается *Skia*. В установившемся режиме на GPU среднего сегмента (*Samsung A60*) *Skia* давала меньшее время кадра в прокрутке декорированного и текстового списков и на прогретом проходе с высокой шейдерной нагрузкой. Часть разрыва на *Samsung A60* может давать тепловое дросселирование (троттлинг) конфигурации *Impeller*. Косвенно на это указывают сами данные: на холодном проходе медиана растеризации у нее 18,3 мс при 69 % пропусков, а на проходе с интенсивным использованием шейдеров межквартильный размах достигает 24 мс против 4,5 мс у *Skia*. Прямого замера температуры нет, поэтому отделить дросселирование от менее оптимизированного пути *OpenGL ES* на этом GPU по имеющимся данным нельзя – обе причины остаются возможными.

Второй случай – время холодного старта: *Impeller-OpenGL ES* стартует в 3,6–4,3 раза медленнее *Skia*. Эти потери относятся к бэкенду *OpenGL ES*, а не к *Impeller* в целом – на *iPhone 15 Pro* с *Metal* старт быстрый. Для приложений, где критично время до первого экрана, а не плавность первых анимаций, это соотношение работает против *Impeller*.

Сама смена направления между *OnePlus 8*

и *Samsung A60* при одном бэкенде *OpenGL ES* указывает на зависимость от *GPU* и его драйвера. Полностью разделить вклад аппаратуры, менее оптимизированного пути *OpenGL ES* на старших версиях *Adreno* и теплового режима по имеющимся данным нельзя.

Поскольку *Impeller* включен по умолчанию, на устройствах без рабочего *Vulkan* безальтернативно используется его бэкэнд *OpenGL ES* [5], а возможность возврата к *Skia* объявлена к удалению [3; 5], издержки перехода концентрируются на бэкенде *OpenGL ES*, *GPU* среднего сегмента и сценариях, чувствительных ко времени запуска, – там, где по полученным данным *Impeller* не имеет преимуществ либо уступает.

Заключение

В работе построен управляемый стенд и проведено воспроизводимое эмпирическое сравнение подсистем *Skia* и *Impeller* во *Flutter* на двух *Android*-устройствах разного класса и описательно на *iPhone* – при фиксированной версии, в контролируемых условиях и с непараметрической статистической обработкой. Это позволило сопоставить подсистемы не по усредненным показателям, а по хвосту распределения времени кадра, где и проявляется воспринимаемая неплывность. Основной результат состоит в том, что различие между подсистемами сосредоточено не в типичном кадре, а в его худших значениях. Медианное время растеризации у *Skia* и *Impeller* на устройстве верхнего сегмента близко, тогда как на холодном проходе худший кадр *Skia* превышает *Impeller*: первый кадр у *Skia* несет компиляцию шейдеров, а у

Impeller она вынесена на этап сборки. Контраст холодного и прогретого проходов подтверждает однократную природу этих издержек.

Соотношение подсистем зависит от устройства и сценария. На *GPU* верхнего сегмента *Impeller* дает меньший худший кадр в большинстве установившихся сценариев, на *GPU* среднего сегмента в прокрутке ниже *Skia*. Перенос компиляции на старт удлиняет у *Impeller* время до первого кадра на *OpenGL ES*, но снимает всплеск первого отрисованного кадра. Поскольку *Impeller* включен по умолчанию и на устройствах без рабочего *Vulkan* вынужденно работает на *OpenGL ES*, а возможность возврата к *Skia* объявлена к удалению, затраты, связанные с переходом, приходится на бэкэнд *OpenGL ES*, *GPU* среднего сегмента и сценарии, чувствительные ко времени запуска. Распространение этого вывода на нижний сегмент остается гипотезой: самое слабое устройство выборки, *Samsung A60 (Adreno 612)*, – среднего класса.

Из результатов следует практический ориентир. На *GPU* высшего класса переход на *Impeller* безопасен и даже снижает худший кадр, поэтому отдельных действий не требует. Риск сосредоточен на бэкенде *OpenGL ES*: на *GPU* среднего сегмента *Impeller* проигрывает *Skia* в сценариях прокрутки и стартует в 3,6–4,3 раза дольше.

Командам, чьи приложения нацелены на такие устройства и чувствительны ко времени до первого экрана, стоит профилировать оба варианта на целевой технике и, пока отключение *Impeller* на *Android* еще доступно, взвешивать его либо закладывать запас на удлиненный старт, учитывая, что в дальнейшем ее планируется удалить.

Литература/References

1. Akarte, S.P. Evaluation of the Cross-Platform Technology Flutter Using Different System Environments / S.P. Akarte // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET). – 2024. – Vol. 12, № 4. – P. 1330–1335. - DOI: 10.22214/ijraset.2024.60066.
2. Cliff, N. Dominance Statistics: Ordinal Analyses to Answer Ordinal Questions / N. Cliff // Psychological Bulletin. – 1993. – Vol. 114, № 3. – P. 494–509. - DOI: 10.1037/0033-2909.114.3.494 EDN: HKCRAX.
3. Flutter Roadmap // flutter/flutter (GitHub) [Electronic resource]. – Access mode : <https://github.com/flutter/flutter/blob/master/docs/roadmap/Roadmap.md>.
4. Impeller Has Noticeably Worse Performance than Skia When Using Platform View / Texture: issue #180831 // flutter/flutter (GitHub) [Electronic resource]. – Access mode : <https://github.com/flutter/flutter/issues/180831>.
5. Impeller Rendering Engine // Flutter Documentation [Electronic resource]. – Access mode : <https://docs.flutter.dev/perf/impeller>.

6. Jia, X. A Performance Evaluation of Cross-Platform Mobile Application Development Approaches / X. Jia, A. Ebone, Y. Tan // 2018 IEEE/ACM 5th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft). – Gothenburg : IEEE, 2018. – P. 92–93. – DOI: 10.1145/3197231.3197252.
7. Lovrić, L. Evaluation of the Cross-Platform Framework Flutter Using the Example of a Cancer Counselling App / L. Lovrić, M. Fischer, N. Röderer, A. Wunsch // Proceedings of the 9th International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health (ICT4AWE). – Setúbal : SciTePress, 2023. – P. 135–142. – DOI: 10.5220/0011824500003476.
8. Mann, H. B. On a Test of Whether One of Two Random Variables Is Stochastically Larger than the Other / H. B. Mann, D. R. Whitney // Annals of Mathematical Statistics. – 1947. – Vol. 18, № 1. – P. 50–60. – DOI: 10.1214/aoms/1177730491.
9. Nanavati, J. Critical Review and Fine-Tuning Performance of Flutter Applications / J. Nanavati, S. Patel, U.A. Patel, A. Patel // 2024 5th International Conference on Mobile Computing and Sustainable Informatics (ICMCSI). – Piscataway : IEEE, 2024. – P. 838–841. – DOI: 10.1109/ICMCSI61536.2024.00131.
10. Saxena, V. Comprehensive Insights into Cross-Platform Mobile Development Frameworks / V. Saxena // Proceedings of the 6th International Conference on Information Management & Machine Intelligence (ICIMMI). – New York : ACM, 2025. – Art. 11. – P. 1–6. – DOI: 10.1145/3745812.3745824.
11. Slow Rendering // Android Developers [Electronic resource]. – Access mode : <https://developer.android.com/topic/performance/vitals/render>.
12. Suri, B. Cross-Platform Empirical Analysis of Mobile Application Development Frameworks: Kotlin, React Native and Flutter / B. Suri, S. Taneja, I. Bhanot, H. Sharma // Proceedings of the 4th International Conference on Information Management & Machine Intelligence (ICIMMI '22). – New York : ACM, 2023. – Art. 60. – P. 1–6. – DOI: 10.1145/3590837.3590897.
13. UI Jank Detection // Android Developers [Electronic resource]. – Access mode : <https://developer.android.com/studio/profile/jank-detection>.

© П.А. Степанов, Д.П. Ушаков, А.В. Козлов, М.А. Кочемиров, 2026

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR DESIGNING METRO ROLLING STOCK

XIAO SHUXIN, N.R. TURKINA

*Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F. Ustinov,
St. Petersburg*

Keywords and phrases: digital modeling; finite element analysis; full life cycle; metro vehicle; operation and maintenance; running gear; structural optimization; tooling equipment.

Abstract: This paper applies information technology to the full life-cycle design of metro vehicles to clarify its practical engineering value. The core goals and objectives are to optimize vehicle structure and enhance the safety and comfort of vehicle maintenance. In this article, a research hypothesis is put forward that digital design methods can effectively simulate the operating conditions of vehicles. The combination of digital modeling and finite element analysis makes it possible to investigate the causes of vibration and noise, optimize the design of the wheelset and then achieve vibration and noise reduction through computational design. Relying on informatized design ideas, customized tooling and support equipment are developed. Validated by strength tests, all schemes comply with industrial specifications, and these reliable results can offer practical references for boosting the overall efficiency of metro vehicle design, manufacturing and maintenance.

Introduction

Nowadays, metro networks in major cities are expanding rapidly, bringing new challenges for engineers to upgrade rolling stock design. Higher demands are being placed on operational reliability, passenger comfort, and vibration and noise control, which makes it necessary to adopt modern vehicle design methods [1]. Conventional calculation and design approaches can no longer fully satisfy modern production and operational requirements. The bogie is a key component of metro vehicles; its performance directly affects vibration and noise levels as well as overall structural reliability. Even so, there is still limited research on bogie optimization and the design of special transport and maintenance equipment. Digital modeling and the finite element method allow engineers to thoroughly analyse vibration and noise formation, check structural strength, and justify optimal design solutions. Applying digital methods across the entire metro vehicle lifecycle helps improve design quality, cut development time, and boost the efficiency of operation and maintenance. For this reason, studying the use of modern digital tools in the design and optimisation of metro rolling stock is of clear prac-

tical value [2].

Basic components of subway running gear

The metro bogie is composed of secondary suspension, wheel, lateral damper, bogie frame, bump-stop, vertical damper, wheelset, yaw damper and primary suspension.

The T-type secondary suspension, wheel and wheelset form the core skeleton of the metro running system. The T-type secondary suspension is connected to the car body and bears the load from the upper part of the car body; the wheel and wheelset are in contact with the track, as shown in Fig. 1. The operating conditions of these three components directly affect the safety and stability of metro vehicles. Among them, as a key load-bearing component, the wheel is crucial in performance optimization, operation safety and the design of auxiliary equipment.

Modelling, simulation and structural optimization of metro wheel

As shown in Fig. 2, the wheels, a core component of the subway car's running gear, are the main

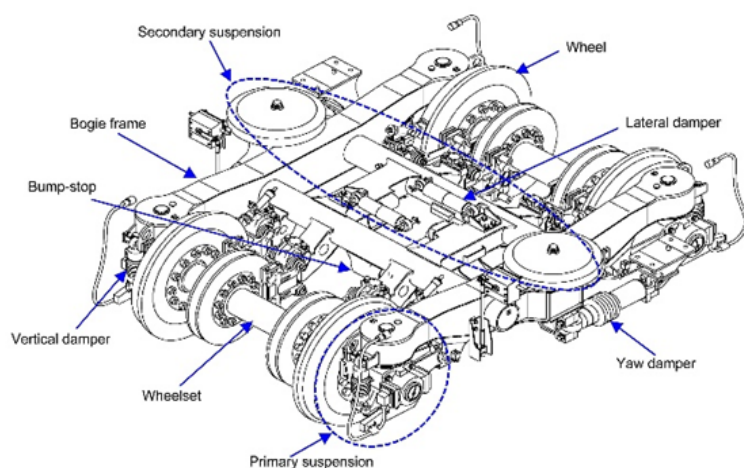


Fig. 1. Metro bogie model

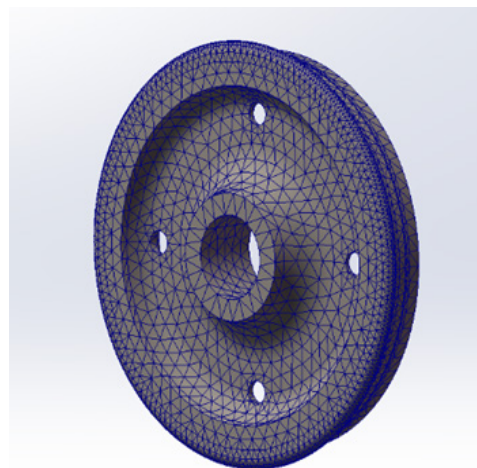


Fig. 2. Finite element decomposition of wheel model

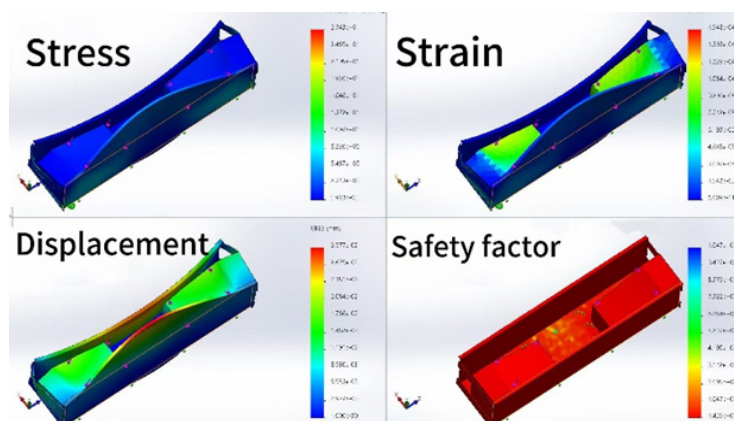


Fig. 3. Stoppers for trackless transportation of rolling stock wheels

source of noise in the subway, and noise control is a key design indicator for the vehicle.

To improve acoustic performance, proposed a design optimization for the wheel model: installing vibration-damping pads on four mounting holes. The proposed. Wheel design will, after installation, effectively reduce noise and vibration while maintaining the necessary geometric stability and structural strength [3].

These all need to be achieved through finite element modeling, simulating wheel shape, materials, stress conditions, etc., and performing calculations.

Design and optimization of auxiliary devices for metro vehicles

After completing the wheel structure de-

sign and optimizing its external parameters, the wheel's final shape is essentially complete. However, in actual engineering scenarios, simply designing the wheel is far from sufficient. After all, once the wheel is manufactured on the production line, it still faces the challenges of factory transfer and vehicle transportation before assembly, during which slippage, collisions, and positional misalignment can easily occur. It is precisely because of these real-world pain points in the actual transfer and transportation process that a dedicated stop and limit device is needed to ensure the stability and safety of the wheel during transport and storage [4].

Adopting a steel main body combined with pine modules, as shown in Fig. 3, the structure meets the requirements of economy, manufacturability and lightweight for rail transit equipment.

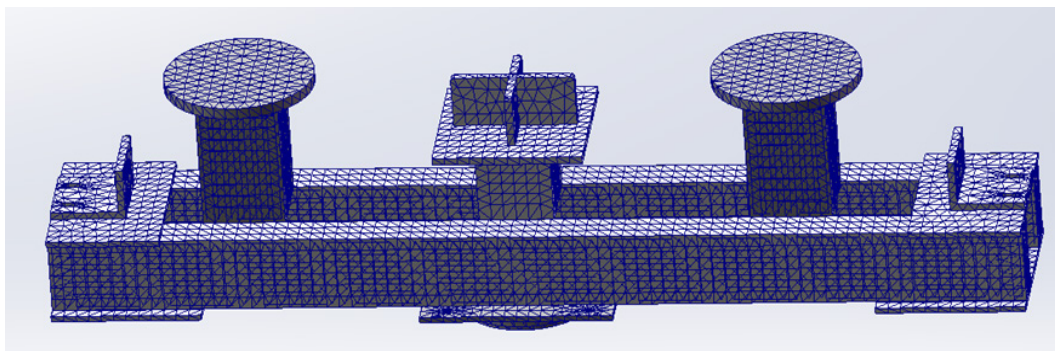


Fig. 4. Transport device for transporting subway cars

The design of metro vehicle manufacturing and assembly tooling is extended from the mature technologies of bogies, carbody load-bearing structures and production line equipment, providing full support for the entire R&D and manufacturing process of metro vehicles [5].

After the structural optimization of wheels and the design of transportation stop devices, the problems of positioning and protection in wheel production, transshipment and vehicle mounting have been resolved. However, the full life cycle of metro vehicles also includes subsequent inspection and maintenance. As shown in Fig. 4, during operation and maintenance, the running gear and carbody require reliable supporting. Therefore, it is necessary to develop dedicated support devices for metro vehicle maintenance to satisfy the process specifications and safety requirements of maintenance operations [6].

Thanks to the proposed design solutions – central positioning, support on the load-bearing beam, quick coupling – stable support and safe transportation of the car are ensured, at the same time the working height of repair operations is increased, the ergonomics of the work places are improved and labor intensity is reduced.

Conclusion

This research focuses on the modeling, simulation, and structural optimization of key components (wheels) and auxiliary devices of subway vehicles. This problem is not limited to a single stage but spans the entire lifecycle of subway vehicles,

from production to maintenance.

The research results show that by adding vibration-damping pads to the four mounting holes of the wheel, optimizing the structure, and verifying this with SolidWorks Simulation finite element simulation, we can effectively reduce noise and vibration while ensuring the geometric stability and structural strength of the wheel – this effect has been verified by actual simulation. Furthermore, during wheel production and transportation, slippage and collisions are prone to occur. To address this pain point, we designed a dedicated stop and limit device with a steel body combined with pine wood modules, which perfectly meets the requirements of economy, manufacturability, and lightweighting for rail transit equipment, solving the safety and stability issues of wheel transportation and storage. Additionally, we developed a dedicated support device for subway vehicle maintenance. Through designs such as center positioning, load-bearing beam support, and quick connection, it not only achieves stable support and safe transportation of the vehicle but also increases the height for maintenance operations and reduces the labor intensity of workers, demonstrating strong practicality.

Overall, this research, based on SolidWorks finite element simulation and subway vehicle design information technology, has practical value for optimizing wheel design, ensuring transportation safety, and improving maintenance efficiency [7; 8]. It can provide a reference for the design of rail transit components and lay the foundation for improving the overall performance of subways.

References

1. Чакраборти, М. Оптимизация пропускной способности и энергопотребления сети метро: тематическое исследование метрополитена Бангалора / М. Чакраборти, М. Маркезини //

Конференции по гражданскому строительству. – 2023. – Т. 1. – № 23. – С. 1–3. – DOI: 10.4203/ccc.1.23.15.

2. Макаров, Н.Н. Оптимальное управление стендом «квадрокоптер» с использованием цифрового скользящего режима / Н.Н. Макаров, Е.В. Плыкина // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 12(195). – С. 59–65.

3. Сяо Шусинь. Исследование и снижение шума подвижного состава метрополитена в КНР / Сяо Шусинь, Н.Р. Туркина, М.В. Буторина // Noise Theory and Practice. – 2025. – Т. 11. – № 4(43). – С. 240–249.

4. Гусак, Е.В. Стандартизация и централизация наборов данных для эффективного обучения моделей глубокого обучения в сельском хозяйстве / Е.В. Гусак, А.Ф. Рогачев // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 1(196). – С. 18–22.

5. Чжан Цзыян. Исследование, разработка и применение стопора для колес метрополитена / Чжан Цзыян, Сяо Шусинь, Н.Р. Туркина, Вэй Цзигуан // Журнал инженерной механики и машиноведения. – 2024. – Art. ZB057. – ISSN 2371-9125, 2371-9133.

6. Сяо Шусинь. Конструирование опорного устройства для транспортировочной тележки вагонов метрополитена / Сяо Шусинь, Н.Р. Туркина // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2026. – № 37. – С. 31–36. – DOI: 10.26160/2658-3305-2026-37-31-36.

7. Борель, И.В. Применение информационных технологий (BIM-технологий) в проектировании высокоскоростной железной дороги / И.В. Борель, Г.А. Богданова, Ж.В. Иванова // VI Бетанкуровский международный инженерный форум. – СПб., 2024. – С. 60–63. – EDN: FFAANX.

8. Брезгин, В.И. Технология проектирования оборудования ПТУ с применением современных информационных технологий / В.И. Брезгин // CAD/CAM/PDM-2012: труды 12-й Международной конференции. – М., 2012. – С. 36–40. – EDN: SWYNUR.

References

1. CHakraborti, M. Optimizatsiya propusknoj sposobnosti i energopotrebleniya seti metro: tematicheskoe issledovanie metropolitena Bangalora / M. CHakraborti, M. Markezini // Konferentsii po grazhdanskomu stroitelstvu. – 2023. – Т. 1. – № 23. – С. 1–3. – DOI: 10.4203/ccc.1.23.15.

2. Makarov, N.N. Optimalnoe upravlenie stendom «kvadrokofter» s ispolzovaniem tsifrovogo skolzyashchego rezhima / N.N. Makarov, E.V. Plykina // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 12(195). – С. 59–65.

3. Syao SHusin. Issledovanie i snizhenie shuma podvizhnogo sostava metropolitena v KNR / Syao SHusin, N.R. Turkina, M.V. Butorina // Noise Theory and Practice. – 2025. – Т. 11. – № 4(43). – С. 240–249.

4. Gusak, E.V. Standartizatsiya i tsentralizatsiya naborov dannykh dlya effektivnogo obucheniya modelej glubokogo obucheniya v selskom khozyajstve / E.V. Gusak, A.F. Rogachev // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 1(196). – С. 18–22.

5. CHzhan TSzyyan. Issledovanie, razrabotka i primenenie stopora dlya koles metropolitena / CHzhan TSzyyan, Syao SHusin, N.R. Turkina, Vej TSziguan // ZHurnal inzhenernoj mekhaniki i mashinovedeniya. – 2024. – Art. ZB057. – ISSN 2371-9125, 2371-9133.

6. Syao SHusin. Konstruirovaniye opornogo ustrojstva dlya transportirovochnoj telezhki vagonov metropolitena / Syao SHusin, N.R. Turkina // Transportnoe, gornoe i stroitelnoe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo. – 2026. – № 37. – С. 31–36. – DOI: 10.26160/2658-3305-2026-37-31-36.

7. Borel, I.V. Primenenie informatsionnykh tekhnologij (BIM-tekhnologij) v proektirovanii vysokoskorostnoj zheleznoj dorogi / I.V. Borel, G.A. Bogdanova, ZH.V. Ivanova // VI Betankurovskij mezhdunarodnij inzhenernij forum. – SPb., 2024. – С. 60–63. – EDN: FFAANX.

8. Brezgin, V.I. Tekhnologiya proektirovaniya oborudovaniya PTU s primeneniem sovremennykh informatsionnykh tekhnologij / V.I. Brezgin // CAD/CAM/PDM-2012: trudy 12-j Mezhdunarodnoj konferentsii. – M., 2012. – С. 36–40. – EDN: SWYNUR.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ АВТОТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ АКУСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

А.М. ТУРЯНСКИЙ, А.И. СОЛДАТОВ

*БУ ВО «Сургутский государственный университет»,
г. Сургут;*

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
г. Томск*

Ключевые слова и фразы: акустическая диагностика; автомобильные шумы; мел-кепстральные коэффициенты; машинное обучение; интегральная оценка признаков.

Аннотация: Целью исследования является разработка интеллектуальной системы распределенной акустической диагностики автотранспорта на основе интегральной оценки акустических признаков. Рассматривается подход к объединению временных, спектральных и временно-частотных признаков для повышения устойчивости классификации автомобильных шумов в условиях неоднородных эксплуатационных данных. Гипотеза исследования заключается в том, что интегральное признаковое представление обеспечивает более устойчивую классификацию по сравнению с использованием отдельных групп признаков. В работе использовались методы цифровой обработки сигналов, извлечения мел-кепстральных коэффициентов (*MFCC*), а также модели машинного обучения *Logistic Regression*, *SVM* и *Random Forest*. Проведено экспериментальное исследование на датасете из 152 *WAV*-записей автомобильных шумов. Полученные результаты показывают перспективность интегрального признакового представления для задач акустической диагностики автотранспорта и подтверждают возможность его применения в интеллектуальных диагностических системах.

Введение

Современные транспортные средства представляют собой сложные технические системы, включающие большое количество механических, электронных и электромеханических узлов. Надежность эксплуатации автомобилей зависит от технического состояния основных узлов и агрегатов. Раннее выявление неисправностей позволяет снизить вероятность аварийных отказов, уменьшить эксплуатационные затраты и повысить безопасность движения.

Одним из перспективных направлений неразрушающего контроля является акустическая диагностика, основанная на анализе звуковых и виброакустических сигналов [1–4]. Однако практическое применение подобных систем осложняется влиянием дорожных и эксплуата-

ционных шумов, а также неоднородностью акустических данных [5; 6].

Существующие подходы часто используют отдельные группы признаков: временные, спектральные или мел-кепстральные характеристики. Использование только одной группы признаков не всегда обеспечивает устойчивую классификацию в условиях реальной эксплуатации. В связи с этим актуальной задачей является формирование интегрального признакового представления, объединяющего несколько типов акустических характеристик [6; 7].

Научная новизна работы заключается в разработке интегрального признакового представления, объединяющего временные, спектральные и мел-кепстральные характеристики автомобильных шумов для повышения устойчивости классификации в условиях неоднород-

ных акустических данных. В отличие от существующих подходов, использующих отдельные группы признаков, предложенный метод обеспечивает более стабильное качество распознавания при наличии эксплуатационных и дорожных шумов.

Архитектура интеллектуальной системы диагностики

Разработанная система представляет собой программный прототип распределенной платформы акустической диагностики автотранспорта. В основе системы лежит использование мобильных устройств в качестве распределенных акустических сенсоров. Запись сигналов может выполняться как в одиночном режиме, так и в режиме многоточечного синхронного сбора данных.

Архитектура системы включает следующие основные модули:

- модуль регистрации и синхронизации устройств;
- модуль установки мобильных устройств;
- модуль записи акустических сигналов;
- модуль предварительной обработки;
- серверный модуль анализа данных;
- модуль визуализации результатов диагностики.

Синхронизация устройств выполняется через серверную координацию диагностической сессии.

Перед анализом выполняется предварительная обработка аудиосигналов, включающая подавление шумов и унификацию параметров записи.

Разработанная архитектура позволяет использовать систему как основу для интеллектуальной акустической диагностики и последующего развития методов предиктивного технического обслуживания.

Датасет акустических сигналов

Для проведения экспериментального исследования был сформирован набор акустических данных, содержащий 152 WAV-записи автомобильных шумов. Датасет включает следующие классы: *engine*, *steering*, *suspension*, *transmission*, *exhaust* и *wheels_and_brakes*.

Распределение классов является несбалан-

сированным, что отражает особенности реальных эксплуатационных данных. Средняя длительность аудиозаписей составила 8,35 с.

Перед анализом аудиозаписи приводились к единым параметрам посредством преобразования в моноформат, нормализации амплитуды и ресемплинга до 16 кГц.

Для оценки качества классификации использовалась 5-кратная стратифицированная кросс-валидация, обеспечивающая сохранение пропорций классов в обучающих и тестовых выборках.

Метод интегральной оценки акустических признаков

В работе используется интегральное признаковое представление, объединяющее временные, спектральные и временно-частотные признаки. В качестве временно-частотных признаков использовались мел-кепстральные коэффициенты. Такой подход позволяет учитывать различные характеристики акустического сигнала и повышать устойчивость классификации.

Предварительная обработка включала преобразование стереосигналов в моно, ресемплинг до 16 кГц и нормализацию амплитуды.

Использовались временные признаки (среднеквадратичное значение и *Zero Crossing Rate* – скорость перехода через нуль), спектральные признаки (спектральный центроид и спектральный спад), а также первые 13 мел-кепстральных коэффициентов.

Среднеквадратичное значение (*Root Mean Square*) вычислялось по формуле:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N}},$$

где x_i – отсчеты сигнала, N – количество отсчетов.

Показатель *Zero Crossing Rate* определял количество пересечений сигналом нулевого уровня:

$$ZCR = \frac{1}{N-1} \sum (I(x_i x_{i-1} < 0)),$$

где I – индикаторная функция.

Спектральный центроид определялся следующим образом:

Таблица 1. Результаты классификации автомобильных шумов по классам систем автомобиля

Признаки	Модель	<i>Accuracy</i>	<i>Macro-F1</i>
Интегральные	<i>SVM-RBF</i>	0,54	0,398
Мел-кепстральные	<i>SVM-RBF</i>	0,468	0,352
Интегральные	<i>Logistic Regression</i>	0,533	0,332
Мел-кепстральные	<i>Logistic Regression</i>	0,474	0,326
Интегральные	<i>Random Forest</i>	0,599	0,28

$$C = \frac{\sum (f_k X(k))}{\sum X(k)},$$

где f_k – частота спектрального бина, $X(k)$ – амплитуда спектра.

Для объединения различных групп признаков формировался интегральный вектор:

$$F_{int} = [F_t, F_s, F_m],$$

где F_t – временные признаки, F_s – спектральные признаки, F_m – мел-кепстральные признаки.

Нормализация признаков выполнялась перед обучением моделей машинного обучения для устранения влияния различий масштабов признаков групп.

Интегральное признаковое представление позволяет учитывать как локальные, так и глобальные характеристики акустических сигналов. Временные признаки отражают особенности изменения сигнала во времени, спектральные признаки характеризуют распределение энергии по частотным диапазонам, а временно-частотные признаки обеспечивают более детальное описание структуры акустического сигнала. Совместное использование различных групп признаков повышает устойчивость классификации в условиях внешних шумовых воздействий и неоднородности записей.

Дополнительным преимуществом интегрального подхода является возможность последующего расширения признакового пространства без изменения общей архитектуры системы. В дальнейшем в состав интегрального представления могут быть включены вибрационные, телеметрические и температурные параметры, что создает предпосылки для построения мультимодальных интеллектуальных диагностических систем.

Экспериментальное исследование

Целью экспериментального исследования являлось сравнение эффективности различных групп акустических признаков при классификации автомобильных шумов. В качестве основной задачи рассматривалась классификация по укрупненным классам систем автомобиля: *engine, steering, suspension, transmission, exhaust* и *wheels_and_brakes*.

Для оценки устойчивости классификации использовалась 5-кратная стратифицированная кросс-валидация.

В эксперименте использовались модели *Logistic Regression*, *SVM* с *RBF*-ядром и *Random Forest*.

Для оценки качества классификации использовались *Accuracy* и *Macro-F1*.

Перед обучением моделей выполнялось разделение выборки на обучающие и тестовые подмножества в рамках процедуры стратифицированной кросс-валидации. Такой подход позволяет снизить влияние случайного распределения данных и обеспечить более устойчивую оценку качества классификации при ограниченном объеме датасета.

Обучение моделей выполнялось на нормализованных признаковых векторах, сформированных после объединения временных, спектральных и временно-частотных характеристик. Для моделей *SVM* использовалось радиально-базисное ядро, обеспечивающее возможность разделения нелинейно распределенных классов. Модель *Random Forest* применялась для анализа устойчивости классификации при использовании ансамблевых методов машинного обучения.

Результаты предварительного сравнения признаков представлены в табл. 1.

Несмотря на сравнительно умеренные значения *Accuracy* и *Macro-F1*, полученные

результаты отражают высокую сложность классификации автомобильных шумов в условиях ограниченного и неоднородного датасета. Аудиозаписи содержат эксплуатационные и фоновые шумы, различаются по длительности и условиям записи, что усложняет задачу распознавания. Интегральное признаковое представление демонстрирует более устойчивые результаты по сравнению с использованием только мел-кепстральных признаков, подтверждая эффективность объединения различных типов акустических характеристик.

Модель *Random Forest* показала более высокое значение *Accuracy*, но более низкое значение *Macro-F1* вследствие несбалансированности классов. Поэтому для данной задачи более информативной метрикой является *Macro-F1*.

Ограничениями исследования являются дисбаланс классов, ограниченное число записей отдельных неисправностей и неоднородность источников аудиоданных.

Использование метрики *Macro-F1* обусловлено несбалансированностью классов исследуемого датасета. В отличие от *Accuracy*, данная метрика позволяет учитывать качество распоз-

навания малочисленных классов и обеспечивает более объективную оценку устойчивости классификации.

Заключение

В работе предложен подход к интегральной оценке акустических признаков в интеллектуальной системе диагностики автотранспорта.

Разработан программный прототип системы сбора акустических данных, сформирован датасет автомобильных шумов и выполнено экспериментальное сравнение различных групп признаков.

Полученные результаты подтверждают перспективность интегрального признакового представления для задач акустической диагностики автотранспорта.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением датасета автомобильных шумов, использованием методов балансировки классов, а также применением глубоких нейронных сетей и ансамблевых моделей для повышения устойчивости классификации в реальных условиях эксплуатации.

Литература

1. Bishop, C.M. Pattern Recognition and Machine Learning / C.M. Bishop. – New York : Springer, 2006. – 738 p.
2. Турянский, А.М. Теоретические основы акустической диагностики автотранспорта: современные подходы и перспективы / А.М. Турянский, А.И. Солдатов // Цифровая трансформация: наука, технологии, инновации. – Уфа : Аэтерна, 2025. – С. 66–69.
3. Oppenheim, A.V. Discrete-Time Signal Processing / A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer. – Pearson, 2009. – 1120 p.
4. Турянский, А.М. Методы подавления дорожных шумов в интеллектуальных диагностических системах / А.М. Турянский, А.И. Солдатов // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 12(195). – С. 85–88. – EDN: EYZAWM.
5. Rabiner, L. Theory and Applications of Digital Speech Processing / L. Rabiner, R. Schaffer. – Pearson, 2011. – 904 p.
6. Piczak, K.J. Environmental sound classification with convolutional neural networks / K.J. Piczak // IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing. – 2015. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/MLSP.2015.7324337.
7. Турянский, А.М. Методы обработки акустических данных для выявления источников шума в автотранспорте с использованием нейронных сетей / А.М. Турянский, А.И. Солдатов // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 5(188). – С. 34–36. – EDN: WHDIIA.

References

2. Turyanskij, A.M. Teoreticheskie osnovy akusticheskoy diagnostiki avtotransporta: sovremennye podkhody i perspektivy / A.M. Turyanskij, A.I. Soldatov // TSifrovaya transformatsiya: nauka, tekhnologii, innovatsii. – Ufa : Aeterna, 2025. – S. 66–69.
4. Turyanskij, A.M. Metody podavleniya dorozhnykh шумов v intellektualnykh diagnosticheskikh

sistemakh / A.M. Turyanskij, A.I. Soldatov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 12(195). – S. 85–88. – EDN: EYZAWM.

7. Turyanskij, A.M. Metody obrabotki akusticheskikh dannykh dlya vyyavleniya istochnikov shuma v avtotransporte s ispolzovaniem nejronnykh setej / A.M. Turyanskij, A.I. Soldatov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 5(188). – S. 34–36. – EDN: WHDIIA.

© А.М. Турянский, А.И. Солдатов, 2026

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ОБЛАКОВ ТОЧЕК И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ В ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ

Д.А. ХУСНИЕВ, О.В. ВОРОНКОВА

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

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: облако точек; лазерное сканирование; *Scan-to-BIM*; сегментация; *RANSAC*; глубокое обучение; цифровая информационная модель здания; *IFC*; системный анализ.

Аннотация: Цель исследования – системный анализ алгоритмов обработки облаков точек и формализация процесса их реконструкции в элементы цифровых информационных моделей зданий (ТИМ/*BIM*). Задачи включают систематизацию этапов технологии *Scan-to-BIM*, сравнение классических и нейросетевых подходов, а также выявление факторов, влияющих на точность реконструкции. Гипотеза исследования заключается в том, что применение гибридного подхода, сочетающего математические алгоритмы (*RANSAC*) и глубокое обучение (*PointNet++*), существенно повысит уровень автоматизации и точность воссоздания *BIM*-элементов. Методы исследования базируются на системном анализе, пространственном моделировании и машинном обучении с оценкой эффективности по метрикам геометрической точности (*RMSE*) и полноты классификации. Достигнутые результаты: разработана обобщенная гибридная схема обработки, обеспечивающая автоматическое восстановление до 85–95 % основных конструкций (*LOD* 300–350), что значительно снижает долю ручного моделирования.

Технологии информационного моделирования зданий (*BIM*/ТИМ) становятся обязательным инструментом на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства. Для существующих зданий наиболее эффективным способом получения актуальной геометрической и семантической информации является лазерное сканирование с последующим преобразованием облака точек в структурированную модель (технология *Scan-to-BIM*). Целевая направленность традиционного подхода *Scan-to-BIM* заключается в формировании цифровой информационной модели на основе упрощенных геометрически правильных элементов, отражающих текущее состояние объекта в целом [1; 5].

Несмотря на значительное развитие аппаратных средств (наземные лазерные сканеры *Leica*, *Faro*, *Trimble*; мобильные и воздушные

LiDAR-системы), процесс реконструкции остается трудоемким и в значительной степени зависит от ручного труда. Автоматизация требует решения комплекса задач: совмещения разрозненных сканов, фильтрации шума, сегментации, распознавания конструктивных элементов и их параметрического описания.

Целью настоящей работы являются системный анализ алгоритмов обработки облаков точек и формализация процесса их реконструкции в элементы цифровых информационных моделей зданий.

Задачи исследования:

- систематизация основных этапов технологической цепочки *Scan-to-BIM*;
- сравнительный анализ классических и нейросетевых алгоритмов;
- выявление критических факторов, влияющих на точность и полноту реконструкции;

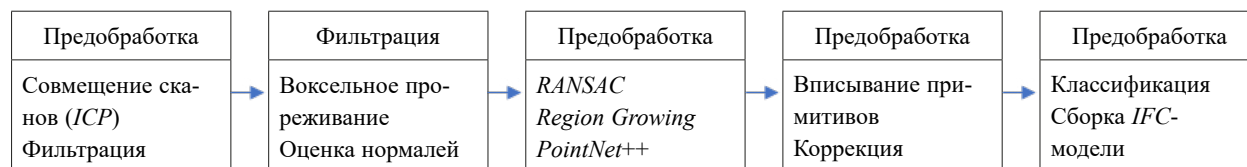


Рис. 1. Обобщенная схема технологической цепочки Scan-to-BIM

– формулирование рекомендаций по выбору алгоритмических решений.

В качестве исходных данных рассматриваются плотные облака точек (плотность 1000–10 000 точек/м²), полученные наземным лазерным сканированием помещений и фасадов зданий, а также данные воздушного LiDAR. Типичный объем одного объекта – от нескольких десятков миллионов до миллиардов точек.

Структура технологической цепочки преобразования данных представлена на рис. 1.

Представим последовательность этапов.

1. Предобработка и совмещение сканов:

– сшивка сканов с разных станций позиционирования и аналитическое трансформирование координат [5];

– грубая регистрация по маркам / алгоритм итеративных ближайших точек (ICP) и его модификации [4; 5];

– нормализация координат, статистическая фильтрация выбросов (SOR).

2. Фильтрация и прореживание:

– удаление шума и артефактов (отражения, подвижные объекты);

– воксельное прореживание с сохранением ключевых точек;

– оценка нормалей методом главных компонент (PCA).

3. Сегментация:

– геометрическая: метод RANSAC для выделения плоскостей, цилиндров и сфер;

– метод регионального роста по нормальям и кривизне;

– семантическая и экземплярная сегментация с использованием глубоких нейросетей (PointNet++, KPConv, Point Transformer, RandLA-Net и др.) [3].

4. Геометрическая реконструкция элементов:

– аппроксимация плоскостей стен, перекрытий, крыш;

– определение толщины стен и границ проемов (окна, двери);

– восстановление объемных примитивов

(колонны, балки) методом вписывания;

– ортогонализация и топологическая коррекция связей.

5. Семантическое наполнение и экспорт:

– формирование атрибутивной информации на основе технической документации и результатов обследований [5];

– присвоение классов IFC (IfcWall, IfcSlab, IfcColumn, IfcDoor, IfcWindow и др.);

– формирование итоговой модели в формате IFC 4.x;

– контроль качества (оценка показателей полноты, точности и корректности геометрического соответствия).

Для оценки эффективности алгоритмов применяется системный подход: каждый этап рассматривается как подсистема, характеризуемая входными/выходными параметрами, критериями качества и вычислительной сложностью. Основные критерии:

– геометрическая точность (среднеквадратическая ошибка RMSE, максимальное отклонение);

– полнота распознавания элементов;

– точность классификации (метрики Precision, IoU);

– время обработки;

– степень автоматизации (доля ручного вмешательства).

Сравнительный анализ применяемых подходов представлен в табл. 1.

Анализ показывает, что чисто классические методы обеспечивают высокую точность на регулярных конструкциях, но плохо справляются с шумом и окклюзиями. Нейросетевые подходы существенно повышают качество семантической сегментации, однако требуют больших размеченных датасетов. Сочетание методов геометрического анализа (RANSAC) и глубокого обучения (PointNet++) позволяет успешно сегментировать облака точек [2; 3].

Наиболее эффективной показала себя гибридная схема, в которой обработка строится по следующим этапам.

Таблица 1. Сравнительный анализ алгоритмических подходов к реконструкции BIM-моделей

Критерий оценки	Классические методы (<i>RANSAC, ICP, Region Growing</i>)	Нейросетевые методы (<i>PointNet++, KPConv</i>)	Гибридный подход (Рекомендуемый)
Геометрическая точность	Высокая на плоских и регулярных поверхностях	Средняя (ограничена дискретизацией сетки)	Высокая (за счет финальной аппроксимации)
Устойчивость к шуму и окклюзиям	Низкая (требует тщательной фильтрации)	Высокая (за счет контекстного анализа)	Высокая
Зависимость от датасетов	Отсутствует	Критическая (требуются размеченные данные)	Умеренная (только для сложных элементов)
Степень автоматизации	Средняя (много ручных пороговых параметров)	Высокая	Высокая (до 85–95 % для основных элементов)
Применимость к элементам	Регулярная геометрия (стены, перекрытия)	Сложные и нетиповые объекты, мебель, инженерия	Полный спектр строительных конструкций

1. Первичная фильтрация и черновая сегментация выполняются традиционными математическими алгоритмами.

2. Распознавание классов объектов и их границ берут на себя глубокие нейросети.

3. Окончательная подгонка геометрии и топологии производится классическими методами (наименьших квадратов и минимизацией энергетических функций).

Как показал разбор алгоритмов, на конечном качестве модели сильнее всего сказываются пять факторов.

- *Точность сведения сканов.* Если погрешность при совмещении превышает 5–10 мм, геометрия стен в модели начинает «двоиться» и расходиться.

- *Степень геометрического сглаживания.* Как отмечают исследователи в области цифрового строительного контроля, алгоритмы аппроксимации при формировании ТИМ-элементов неизбежно усредняют форму и скрывают локальные дефекты [1]. Из-за этого функции вписывания примитивов требуют индивидуальной тонкой настройки.

- *Размер воксельной сетки.* Выбор чересчур крупного шага при прореживании убирает мелкие детали, а слишком мелкая сетка перегружает вычислительные мощности.

- *Полнота сканирования.* Затененные участки (за оборудованием или мебелью) приходится восстанавливать с помощью интерпо-

ляции.

- *Детализация геометрии.* Весь процесс построения элементов должен строго соответствовать требованиям *LOD 300–350*.

Тестирование подхода на реальных жилых и общественных зданиях подтвердило его надежность: в автоматическом режиме удается правильно восстановить 85–95 % стен и перекрытий, а также 70–85 % оконных и дверных проемов.

Совмещение классической геометрии и нейросетевых моделей позволяет выстроить понятный и воспроизводимый процесс создания ТИМ-элементов из облаков точек. Это дает возможность сохранить высокую скорость обработки без потери точности.

В дальнейшем работу стоит продолжить в трех направлениях:

- сбор и разметка качественных обучающих датасетов по отечественным строительным объектам;

- создание сквозных (*end-to-end*) нейросетей для прямой генерации элементов формата *IFC*;

- встраивание нормативных правил (ГОСТ и СП) непосредственно в алгоритмы сегментации.

Предложенная методика может применяться при создании отечественного программного обеспечения для автоматической сборки исполнительных информационных моделей.

Литература

1. Фомин, Н.И. Применение лазерного сканирования для определения фактического объема

бетонных работ: подход Scan-vs-BIM / Н.И. Фомин, Н.С. Исупов // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17. – № 4. – EDN: QOYVJY.

2. Осипов, А.В. Решение проблемы дефицита размеченных промышленных данных через синтетическую генерацию облаков точек для обучения глубоких нейросетей семантической сегментации / А.В. Осипов, А.М. Катечкин, А.Н. Маринич, М.А. Осипова // Инженерный вестник Дона. – 2026. – № 2. – EDN: BOUWWN.

3. Щенявская, Л.А. Анализ архитектуры нейронной сети PointNet / Л.А. Щенявская, Д.А. Гура, Р.А. Дьяченко // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2023. – Т. 50. – № 4. – С. 158–165. – DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-4-158-165. – EDN: PLENTK.

4. Крючкова, Т.Н. Совмещение трехмерных облаков точек. Итеративный алгоритм ближайших точек / Т.Н. Крючкова, А.И. Ефимов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – Вып. 11. – С. 203–209. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-11-203-204. – EDN: PHXKUE.

5. Шарафутдинова, А.А. Опыт разработки цифровой информационной модели промышленных зданий / А.А. Шарафутдинова, М.Я. Брын, Е.Г. Третьякова, Ж.В. Иванова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2025. – Т. 22. – № 3. – С. 776–789. – DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-776-789. – EDN: OMOBSE.

References

1. Fomin, N.I. Primenenie lazernogo skanirovaniya dlya opredeleniya fakticheskogo obema betonnykh rabot: podkhod Scan-vs-BIM / N.I. Fomin, N.S. Isupov // Vestnik evrazijskoj nauki. – 2025. – Т. 17. – № 4. – EDN: QOYVJY.

2. Osipov, A.V. Reshenie problemy defitsita razmechennykh promyshlennykh dannykh cherez sinteticheskuyu generatsiyu oblakov toчек dlya obucheniya glubokikh nejrosetej semanticheskoy segmentatsii / A.V. Osipov, A.M. Katechkin, A.N. Marinich, M.A. Osipova // Inzhenernij vestnik Dona. – 2026. – № 2. – EDN: BOUWWN.

3. SHCHenyavskaya, L.A. Analiz arkhitektury nejronnoj seti PointNet / L.A. SHCHenyavskaya, D.A. Gura, R.A. Dyachenko // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2023. – Т. 50. – № 4. – S. 158–165. – DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-4-158-165. – EDN: PLENTK.

4. Kryuchkova, T.N. Sovmeshchenie trekhmernykh oblakov toчек. Iterativnij algoritm blizhajshikh toчек / T.N. Kryuchkova, A.I. Efimov // Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2023. – Vyp. 11. – S. 203–209. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-11-203-204. – EDN: PHXKUE.

5. SHarafutdinova, A.A. Opyt razrabotki tsifrovoj informatsionnoj modeli promyshlennykh zdaniy / A.A. SHarafutdinova, M.YA. Bryn, E.G. Tretyakova, ZH.V. Ivanova // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. – 2025. – Т. 22. – № 3. – S. 776–789. – DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-776-789. – EDN: OMOBSE.

© Д.А. Хусниев, О.В. Воронкова, 2026

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ

Д.А. ХУСНИЕВ, О.В. ВОРОНКОВА

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

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: системный анализ; информационное моделирование; многокритериальная оптимизация; алгоритм; математическая модель; несущий элемент; модифицированный метод роя частиц (*PSO*); металлический каркас; автоматизация; проектирование; цифровой двойник; целевая функция; параметризация.

Аннотация: Исследование направлено на автоматизацию процессов конструирования несущих систем в среде информационного моделирования зданий (*BIM*) для снижения их материалоемкости при сохранении пространственной жесткости. Для достижения этой цели требовалось формализовать математическую модель пространственного каркаса, сформировать систему целевых функций и ограничений, а также реализовать алгоритмическое обеспечение в виде программного модуля. В основу работы положена гипотеза о том, что интеграция эвристических методов глобальной оптимизации непосредственно в *BIM*-среду позволяет исключить фактор субъективности инженера и находить компромиссные сечения элементов с высокой вычислительной *efficiency*. Методологическую базу составили методы системного анализа (представление каркаса в виде пространственного графа), метод конечных элементов для оценки напряженно-деформированного состояния и модифицированный метод роя частиц (*PSO*). В результате разработан оптимизационный алгоритм и проведена его апробация на цифровой модели металлического каркаса промышленного здания. Применение разработанного решения позволило автоматизировать процесс подбора сечений и снизить общую массу несущих элементов в среднем на 12,3 % при полном соблюдении нормативных требований.

Современный этап развития строительной отрасли неразрывно связан с внедрением технологий *Building Information Modeling (BIM)*. Переход от традиционного проектирования к системному информационному моделированию требует новых подходов к обработке и анализу больших массивов данных. В настоящее время большинство систем автоматизированного проектирования (*САПР*) обеспечивают эффективную геометрическую визуализацию и параметризацию объектов, однако процессы подбора сечений и конфигураций несущих систем до сих пор носят во многом интуитивный харак-

тер. Инженер-проектировщик вынужден итеративно изменять параметры отдельных элементов, ориентируясь на собственный опыт и промежуточные поверочные расчеты, что далеко не всегда приводит к глобально оптимальному проектному решению.

Рассматривая объект проектирования с методологических позиций современного системного анализа, информационная модель здания (*ИМЗ*) выступает в роли многокомпонентной, динамически развивающейся и пространственно-упорядоченной системы, характеризующейся сложной топологической связностью и

множественной взаимозависимостью составляющих ее элементов. Главная особенность подобных систем заключается в их нелинейном отклике на локальные геометрические и физико-механические трансформирования. Методология системного анализа позволяет корректно формализовать сложные инженерные задачи, определяя взаимосвязь между варьируемыми геометрическими параметрами конструкций, целевой функцией материалоемкости и системой жестких функциональных ограничений [4].

В частности, даже незначительная коррекция единичного геометрического параметра отдельного несущего элемента (например, изменение высоты стенки, толщины полок или площади поперечного сечения стального двутавра) инициирует каскадный процесс перераспределения жесткостных характеристик по всей структуре объекта. Это, в свою очередь, влечет за собой существенные изменения схемы внутренних усилий, возникающих изгибающих моментов и прогибов, оказывая прямое воздействие на ключевые эксплуатационные, прочностные, технологические и технико-экономические показатели всего строительного объекта в целом.

При этом существующая практика инженерно-строительного проектирования выявляет существенный разрыв: узкоспециализированные расчетные комплексы и автономные модули прочностного анализа функционируют изолированно от единого пространства информационного моделирования, формируя «островки автоматизации». Подобная фрагментация информационных потоков затрудняет сквозной обмен данными, приводит к потере системных связей и создает дублирование.

Кроме того, современный переход строительной отрасли к управлению жизненным циклом объектов капитального строительства предъявляет строгие требования к качеству информационных моделей и структуре их данных для последующей передачи в эксплуатацию [2]. Ручное моделирование и итеративная корректировка такого объема параметрической информации неизбежно ведут к человеческим ошибкам и коллизиям.

В современной инженерной практике уже предпринимаются успешные попытки автоматизации рутинных поверочных расчетов в среде ТИМ. В частности, исследователями из УрФУ [3] предложен алгоритм управления жизненным циклом объекта посредством автоматизирован-

ного расчета монолитных плит на продавливание с учетом сложной топологии отверстий и краевых условий. Данное решение реализовано средствами визуального программирования *Dynamo*. Однако, несмотря на доступность визуальных скриптов, для задач глобальной многокритериальной оптимизации пространственного каркаса этот инструмент обладает ограничениями. Поточковая обработка тысяч итераций, генерация графа несущей системы и каскадный пересчет параметров требуют иной производительности вычислительного ядра. В этом контексте значительно более эффективным подходом является разработка надстроек (плагинов) на языке объектно-ориентированного программирования *C# (.NET)* с прямым обращением к данным модели через открытый интерфейс *Revit API* [5].

В связи с этим приобретает особую актуальность задача создания и внедрения комплексного алгоритмического обеспечения автоматизированной многокритериальной оптимизации на базе нативного программирования, встроенного непосредственно в ИМЗ. Такой подход способен не только адекватно реагировать на многофакторную и противоречивую природу процессов конструирования несущих систем, но и изначально обеспечивать безошибочное формирование базы данных для всех последующих этапов жизненного цикла объекта.

В рамках системного подхода несущий каркас здания рассматривается как пространственный граф, узлами которого выступают соединения элементов, а ребрами – сами элементы (колонны, балки, связи), что развивается в русле классических подходов структурно-функционального моделирования строительных процессов [6]. Каждому i -му элементу соответствует вектор варьируемых геометрических параметров $X_i = \{b_i, h_i, t_i\}$, где b_i – ширина сечения, h_i – высота сечения, t_i – толщина стенки элемента.

Глобальный вектор переменных проектирования X формирует пространство поиска допустимых решений. Задача многокритериальной оптимизации сводится к поиску вектора X , обеспечивающего минимум целевой функции, представляющей собой агрегирование критериев (материалоемкости и максимальных перемещений) при соблюдении прочностных ограничений.

Целевая функция общей массы системы описывается следующим уравнением:

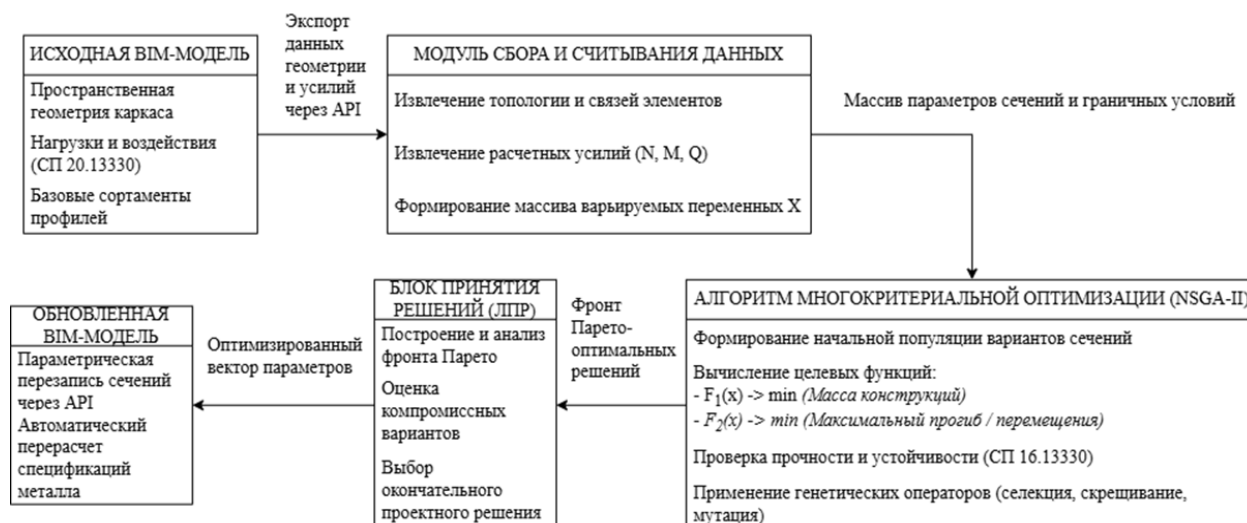


Рис. 1. Схема потоков данных алгоритма оптимизации в информационной модели

$$M(X) = \sum_{i=1}^n p_i A_i(X_i) L_i, \quad (1)$$

где $M(X)$ – суммарная масса несущего каркаса; n – количество элементов в системе; p_i – плотность материала i -го элемента; A_i – площадь поперечного сечения, зависящая от вектора геометрических параметров X_i ; L_i – длина i -го элемента.

Ограничения по первой и второй группам предельных состояний формализуются в виде системы неравенств, определяющих область допустимых решений. Оценка напряженно-деформированного состояния осуществляется на основе метода конечных элементов. Максимальное эквивалентное напряжение для каждого элемента вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A(X_i)} + \frac{M_y}{W_y(X_i)} + \frac{M_z}{W_z(X_i)} \leq R_y \gamma_c, \quad (2)$$

где $\sigma_{\max}$ – максимальное нормальное напряжение в сечении; N – продольная сила; M_y, M_z – изгибающие моменты относительно главных осей; W_y, W_z – моменты сопротивления сечения; R_y – расчетное сопротивление материала; γ_c – коэффициент условий работы.

Ссылка на систему уравнений (1) и неравенство (2) позволяет алгоритмизировать процесс исключения брака недопустимых конфигураций ИМЗ в автоматическом режиме.

В качестве базового математического аппарата для решения поставленной задачи выбран эвристический метод роя частиц (*Particle Swarm Optimization, PSO*). Как отмечается в современных исследованиях [1], данный алгоритм является одним из наиболее востребованных инструментов глобальной оптимизации благодаря высокой скорости сходимости, концептуальной простоте и возможности эффективного применения в сложных многомерных пространствах поиска. Опираясь на эти преимущества, в рамках данной работы разработан специализированный алгоритм на основе модифицированного метода роя частиц, адаптированный для работы с дискретными наборами сортаментов металлопроката.

Архитектура программной реализации предполагает прямую интеграцию с программным комплексом *Revit*, разработанным компанией *Autodesk, INC (USA, California)*, через открытый интерфейс прикладного программирования (*API*).

Разработанный алгоритм включает следующие этапы обработки информации.

- Автоматический парсинг ИМЗ посредством *API*, извлечение топологии графа несущей системы и формирование начального множества параметров X .
- Создание облака альтернативных конфигураций геометрии элементов в пределах заданных ограничений.
- Двухнаправленный обмен данными с расчетным ядром для получения значений $\sigma_{\max}$

Таблица 1. Сравнение исходных и оптимизированных параметров несущего каркаса

№ п/п	Тип элемента (группа)	Исходная площадь сечения, см ²	Оптимизированная площадь сечения, см ²	Снижение материалоемкости, %
1	Колонны крайнего ряда (двутавр)	125,5	108,2	13,8
2	Ригели покрытия (замкнутый профиль)	64,8	58,1	10,3
3	Вертикальные связи (уголок)	21,3	18,4	13,6
4	Прогоны кровли (швеллер)	35,2	31,1	11,6

и узловых перемещений.

– Корректировка параметров и запись оптимального результата обратно в атрибутивную базу ИМЗ.

На рис. 1 показана обобщенная схема циркуляции данных между модулями разработанной системы. Апробация предложенного алгоритма проводилась на информационной модели пространственного каркаса промышленного здания. В ходе вычислительного эксперимента алгоритм проанализировал 1 500 итераций. Результаты сравнительного анализа исходных параметров (заданных инженером-проектировщиком) и параметров, полученных в результате работы оптимизационного алгоритма, сведены в табл. 1. Как видно из представленных данных, применение системного анализа и автоматизи-

рованного поиска позволило снизить общую материалоемкость рассмотренных групп элементов в среднем на 12,3 % без нарушения нормативных требований по несущей способности.

Таким образом, интеграция методов системного анализа и оптимизационных алгоритмов в среду информационного моделирования является высокоэффективным подходом к обработке данных САПР. Разработанный алгоритм решает проблему субъективности при назначении геометрических параметров несущих элементов. Предложенная математическая модель и программная реализация в виде надстройки (плагина) обеспечивают автоматизацию рутинных операций, повышая качество принимаемых технических решений на стадии проектирования.

Литература

1. Казакова, Е.М. Применение метода роя частиц в задачах оптимизации / Е.М. Казакова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 5(109). – С. 48–57. – DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-48-57. – EDN: LEZQRG.
2. Рыбин, Е.Н. BIM-технологии / Е.Н. Рыбин, С.К. Амбарян, В.В. Аносов, Д.В. Гальцев, М.А. Фахратов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т. 9. – № 1. – С. 98–105. – EDN: HLTTRU.
3. Исупов, Н.С. Возможности управления жизненным циклом объекта строительства с применением ТИМ / Н.С. Исупов, М.М. Карманова, С.В. Придвижкин, Н.И. Фомин // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – Т. 23. – № 1. – С. 48–56. – DOI: 10.14529/build230106. – EDN: JQICWG.
4. Чемодуров, В.Т. Использование методов системного анализа в задачах оптимального проектирования строительных конструкций / В.Т. Чемодуров, Ю.С. Леоненко, Э.В. Литвинова // Экономика строительства и природопользования. – 2018. – № 1(66). – С. 6–10. – EDN: RWGZJF.
5. Кирилук, С.А. Возможности расширения функционала в программах ТИМ / С.А. Кирилук // Вестник науки. – 2024. – № 5(74). – Т. 3. – С. 1344–1345. – EDN: DVLKER.
6. Калюжнюк, М.М. Упорядочение рабочих операций простых технологических процессов в строительстве / М.М. Калюжнюк, А.В. Калюжнюк // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7. – С. 87–98. – EDN: OIYPUN.

References

1. Kazakova, E.M. *Primenenie metoda roya chastits v zadachakh optimizatsii* / E.M. Kazakova // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. – 2022. – № 5(109). – S. 48–57. – DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-48-57. – EDN: LEZQRG.
2. Rybin, E.N. *BIM-tehnologii* / E.N. Rybin, S.K. Ambaryan, V.V. Anosov, D.V. Galtsev, M.A. Fakhratov // *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost*. – 2019. – T. 9. – № 1. – S. 98–105. – EDN: HLTTRU.
3. Isupov, N.S. *Vozможности upravleniya zhiznennym tsiklom obekta stroitelstva s primeneniem TIM* / N.S. Isupov, M.M. Karmanova, S.V. Pridvzhkin, N.I. Fomin // *Vestnik YUUrGU. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura*. – 2023. – T. 23. – № 1. – S. 48–56. – DOI: 10.14529/build230106. – EDN: JQICWG.
4. CHemodurov, V.T. *Ispolzovanie metodov sistemnogo analiza v zadachakh optimalnogo proektirovaniya stroitelnykh konstruksij* / V.T. CHemodurov, YU.S. Leonenko, E.V. Litvinova // *Ekonomika stroitelstva i prirodopolzovaniya*. – 2018. – № 1(66). – S. 6–10. – EDN: RWGZJF.
5. Kirilyuk, S.A. *Vozможности rasshireniya funktsionala v programmakh TIM* / S.A. Kirilyuk // *Vestnik nauki*. – 2024. – № 5(74). – T. 3. – S. 1344–1345. – EDN: DVLKEP.
6. Kalyuzhnyuk, M.M. *Uporyadochenie rabochikh operatsij prostykh tekhnologicheskikh protsessov v stroitelstve* / M.M. Kalyuzhnyuk, A.V. Kalyuzhnyuk // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. – 2011. – № 7. – S. 87–98. – EDN: OIYPUN.

© Д.А. Хусниев, О.В. Воронкова, 2026

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

Д.А. ХУСНИЕВ, О.В. ВОРОНКОВА

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

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: системный анализ в проектировании металлических каркасов; цифровое информационное моделирование; BIM-платформа; программный комплекс; матрица системных ограничений; автоматизированный синтез моделей; металлические каркасы.

Аннотация: Цель исследования – повышение эффективности автоматизированного синтеза цифровых информационных моделей (ЦИМ) металлических каркасов зданий. Для этого разрабатывается аналитическая модель, упорядочивающая взаимосвязи между ключевыми проектными факторами. Задачи исследования включают декомпозицию процесса информационного моделирования стальных конструкций и выявление критических параметров генеративного конструирования. На основе этих данных формируется система граничных условий для логики работы САПР. Гипотеза исследования предполагает, что внедрение структурированной «Матрицы системных ограничений» в алгоритмы BIM-платформ позволит минимизировать расчетные погрешности. Данный подход обеспечит программное снижение металлоемкости при сохранении нормативной надежности конструкций. Методы исследования базируются на теории системного анализа сложных техногенных комплексов и алгоритмизации проектных процедур. Также применяется методология структурно-параметрического синтеза на основе удовлетворения заданных ограничений. Достигнутые результаты: разработана «Матрица системных ограничений», объединяющая восемь базовых факторов автоматизированного проектирования в единую систему. Доказано, что ее интеграция в отечественные программные комплексы оптимизирует технологические параметры и повышает технико-экономическую эффективность возводимых объектов.

Стремление минимизировать временные издержки при поиске оптимальных конструктивных решений объясняет высокий интерес участников строительного процесса к библиотекам типовых элементов от производителей металлопроката. Параллельно с этим в отрасли проектирования металлических основ зданий непрерывно возрастает роль узкоспециализированных программных комплексов и веб-инструментов.

С целью автоматизированного синтеза уникальных инженерных решений металлических каркасов активно применяются современные программные комплексы и BIM-платформы.

Как отмечается в профильных исследованиях, технология информационного моделирования представляет собой не просто инструмент трехмерного дизайна, а комплексный интеллектуальный процесс, который делает проектную и оперативную информацию точной, доступной и действенной на протяжении всего жизненного цикла сооружения [2]. Для реализации этой задачи и создания цифровых информационных моделей (ЦИМ) объектов применяются следующие программные решения.

- *Tekla Structures* – программное обеспечение ориентировано на разработку несущих металлоконструкций. Функционал платформы

позволяет автоматизировать выпуск чертежей КМ/КМД и моделировать сложные узловые соединения.

- *Autodesk Revit* – программное обеспечение, позволяющее создавать комплексные информационные модели зданий, включая несущие каркасы, с возможностью параметрической настройки размеров и совместной работы смежных специалистов.

- *Advance Steel* – платформа для автоматизации трехмерного моделирования металлоконструкций и быстрого генерирования файлов для станков с ЧПУ.

- Платформа *nanoCAD BIM* – отечественный программный продукт, предоставляющий инженерам возможность создания цифровых информационных моделей каркасов.

Прогресс в области архитектурного формообразования и повышение стандартов строительства актуализируют внедрение цифровых инструментов для вариативного моделирования металлических конструкций.

Модернизация расчетных комплексов в сторону автоматического синтеза решений направлена на оптимизацию сроков проектирования. Значимым фактором эффективности подобных систем является учет совокупности внешних факторов и внутренних ограничений, влияющих на устойчивость и надежность конструкции. Структура и особенности эксплуатации современных техногенных объектов настолько специфичны, что моделирование и анализ их функционирования невозможны без применения профильного программного обеспечения, «основанного на взаимном учете взаимного влияния составляющих систем и подсистем комплекса, а также синергетических связей», образующихся при взаимодействии с окружающей средой [1].

Использование методов системного анализа успешно решает задачи декомпозиции сложных структур в машиностроении и строительной отрасли. Внедрение новых информационных технологий, согласно современным исследованиям, позволяет «существенно улучшить методологию построения автоматизированных систем синтеза конструктивно-схемных решений сложных технических объектов», а также математических моделей для практической реализации расчетов конкретных вариантов конструкций [1]. Технологии алгоритмического синтеза геометрии и структуры также широко применяются для оптимизации материалоемкости стро-

ительных объектов [2]. В основе алгоритмизации лежит внедрение математического аппарата и логических операторов в процедуры формирования проектных альтернатив. Такой подход обеспечивает автоматическое определение оптимальных геометрических и конструктивных параметров, повышая повторяемость и прозрачность инжиниринга [2]. Системное исключение субъективных ошибок на рутинных шагах критично там, где многофакторный ручной анализ вариантов становится чрезмерно трудоемким для проектировщика.

Проектирование сложного объекта можно представить как совокупность структурного и параметрического синтеза [3]. Для решения подобных задач автоматизации эффективно использовать синтез конфигурации на основе метода удовлетворения ограничений, позволяющий инженеру описывать и решать задачи, не прибегая к программированию излишне сложных алгоритмов. При таком подходе в качестве цели структурного синтеза назначается получение допустимого решения, при котором выбранная целевая функция принимает наименьшее значение [3].

Интеграция механизмов автоматического синтеза в современные *BIM*-комплексы при конструировании стальных конструкций отражает общую тенденцию к рационализации проектирования, росту его надежности и снижению удельной металлоемкости. Помимо высокой точности расчетных процедур, автоматизация открывает инженерам возможности для верификации топологических схем с последующим закреплением наилучших технико-экономических показателей.

При алгоритмическом формировании конструктивных решений стальных каркасов ключевое значение приобретают следующие базовые признаки:

- наличие формализованной целевой функции (в виде минимизации веса конструкций или сметной стоимости);
- четко заданная система граничных условий и проектных ограничений;
- технологическая выполнимость и контролируемость синтезированного результата.

Указанные параметры, определяющие логику работы алгоритмических систем при синтезе металлических остовов зданий, наглядно проиллюстрированы на рис. 1.

В теории системного анализа сложных конструктивных систем выделяют восемь ключе-



Рис. 1. Основные характеристики процесса автоматизированного синтеза металлических каркасов зданий

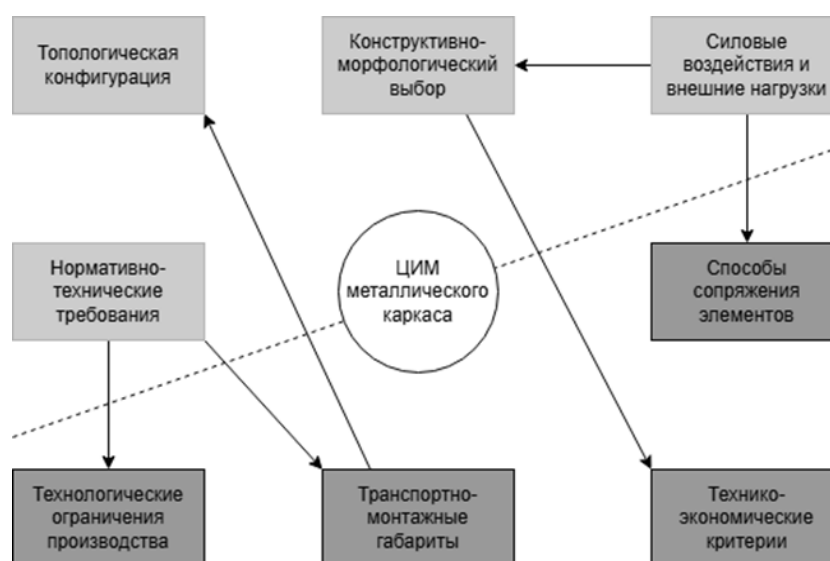


Рис. 2. Матрица системных ограничений: взаимосвязь основных факторов автоматизированного синтеза металлических каркасов

вых факторов (ограничений) синтеза цифровой модели каркаса.

- Фактор 1 – Топологическая конфигурация (сетка осей, геометрия).
- Фактор 2 – Конструктивно-морфологический выбор (типы профилей и сечений).
- Фактор 3 – Силовые воздействия и внешние нагрузки (статические, динамические).
- Фактор 4 – Способы сопряжения элементов (жесткие и шарнирные узлы).
- Фактор 5 – Нормативно-технические требования (прочность, общая устойчивость).
- Фактор 6 – Технологические ограничения производства (возможности завода металлоконструкций).
- Фактор 7 – Транспортно-монтажные габариты (логистика, грузоподъемность кранов).
- Фактор 8 – Техничко-экономические кри-

терии (стоимость, металлоемкость).

В контексте системной методологии разработана аналитическая модель, предназначенная для исследования и упорядочения взаимосвязей между факторами автоматического конструирования – «Матрица системных ограничений». Характер сопряжения и координации ключевых компонентов внутри данной структуры детально отображен на рис. 2.

В структуре рассматриваемой схемы выделены два взаимосвязанных вектора: функционально-геометрический и производственно-экономический, занимающие соответственно верхний и нижний уровни графической модели. Геометрический аспект обобщает в себе прочностные расчеты и пространственную архитектуру, тогда как производственный блок отвечает за технологические мощности предприятий, транспортную логистику и сметную стоимость.



Рис. 3. Анализ влияния ключевых факторов в системе автоматизации синтеза цифровых информационных моделей металлических каркасов сооружений

Оперирование данными категориями позволяет оценивать общую устойчивость и жизнеспособность синтезируемого каркаса.

Агрегация данных групп параметров в цифровом пространстве автоматизированного проектирования металлоконструкций повышает достоверность и обоснованность формируемых ВМ-моделей, открывая новые пути для снижения материалоемкости. Разработанная на базе системного подхода матрица ограничений фактически представляет собой открытую систему, которая позволяет «по мере необходимости вводить в нее учет дополнительных технических элементов и соответствующих моделей и критериев функционирования», отражающих специфику конкретных проектируемых объектов [1]. Применительно к алгоритмизации синтеза конструктивных решений зданий со стальным каркасом ключевые функции разработанной системы ограничений сводятся к следующим аспектам.

1. *Топологическая конфигурация.* Создание расчетных алгоритмов, сочетающих стандартную генерацию шага колонн с возможностью адаптивного трансформирования пространственной схемы под сложные геометрические объемы сооружения.

2. *Конструктивно-морфологический выбор.* Внедрение функциональности, позволяющей системе автоматически перебирать базу данных сортов металлопроката и выбирать оптимальные типы сечений элементов. Для устранения информационной избыточности и сокращения номенклатуры на данном этапе

целесообразно применять методы интеллектуальной поддержки. В частности, интеграция алгоритмов нечеткой классификации (например, *Fuzzy C-Means*) позволяет программно группировать детали по совокупности геометрических и структурных признаков [4].

3. *Силовые воздействия и нагрузки.* Предоставление встроенного инструментария для автоматического сбора нагрузок (климатических, полезных) и их распределения по элементам цифровой модели для постоянного контроля состояния.

4. *Способы сопряжения элементов.* Создание алгоритмических механизмов генерации рамных или ферменных узлов в зависимости от характера передаваемых усилий.

5. *Нормативно-технические требования.* Интеграция проверочных скриптов на соответствие действующим строительным нормам и правилам, гарантирующих общую надежность системы.

6. *Технологические ограничения производства.* Введение технологических параметров (например, унификации марок) для стимулирования эффективного изготовления конструкций на заводах. Анализ показывает, что применение интеллектуальных модулей классификации в цифровом контуре управления проектными данными позволяет сократить долю уникальных позиций почти на 40 %, существенно оптимизируя процесс подготовки производства [4].

7. *Транспортно-монтажные габариты.* Внедрение фильтров, отсекающих варианты деления каркаса на отправочные марки, превыша-

ющие габариты стандартного транспорта или грузоподъемность монтажных кранов.

8. *Технико-экономические критерии*. Создание функции многокритериальной оптимизации, которая ранжирует варианты каркаса по критериям стоимости за тонну и общей металлоемкости. Как отмечается в исследованиях по автоматизации проектирования, комплексная оценка конструктивных элементов на основе технико-экономических параметров (массы, напряжений и стоимости материала) позволяет значительно повысить эффективность выбора оптимальных проектных решений [5].

Сформулированные положения определяют векторы внедрения базовых факторов в расчетно-вычислительные алгоритмы, отвечающие за автоматический синтез конструктивных вариантов стальных каркасов.

В рамках использования разработанной «Матрицы системных ограничений» предлагается оценить влияние каждого фактора на итоговую модель и выявить наиболее критические параметры для автоматизируемой системы.

Анализ влияния ключевых факторов в рамках «Матрицы системных ограничений» для автоматизации синтеза металлических каркасов представлен на рис. 3.

Опираясь на структурные связи, продемонстрированные на рис. 3, представляется возможным классифицировать ключевые параметры, определяющие логику автоматического генеративного процесса:

- нормативно-технические требования – базис, гарантирующий механическую безопас-

ность, жесткость и общую эксплуатационную пригодность стального остова;

- конструктивно-морфологический выбор – вариативный автоматический поиск рациональных профилей и геометрических сечений элементов среди многообразия доступного сортамента металлопроката;

- технико-экономические критерии – снижение металлоемкости и себестоимости без потери надежности конструкции;

- топологическая конфигурация – гибкая адаптивность каркаса к изменяемым габаритам здания.

Резюмируя вышеприведенные тезисы, необходимо подчеркнуть, что именно синергия методов системного анализа и вычислительной алгоритмизации выступает базовым условием для эффективной автоматизации процессов синтеза цифровых информационных моделей металлических каркасов зданий. Использование предложенных подходов является перспективным направлением развития отечественной среды автоматизированного проектирования. Современный образец *BIM* подразумевает, что любой объект фактически создается дважды: сначала в виртуальной среде для верификации решений и устранения коллизий, а затем – в физической реальности [2]. В этом контексте использование предложенной матрицы системных ограничений позволяет комплексно учитывать внешние и внутренние факторы именно на этапе цифровой сборки, что улучшает итоговые технико-экономические параметры возводимых объектов.

Литература

1. Котельников, В.Г. Системный анализ качества и надежности функционирования сложных техногенных комплексов / В.Г. Котельников, В.Г. Лепеш, Л.А. Мартыщенко // *Технико-технологические проблемы сервиса*. – 2013. – № 4(26). – С. 35–41. – EDN: RNIWRR.
2. Озеров, А.О. Анализ эффективности BIM-технологий / А.О. Озеров // *E-SCIO*. – 2023. – № 8.
3. Боргест, Н.М. Предпроектный анализ интеллектуального жилого дома для условий Арктики / Н.М. Боргест, А.С. Галахарь, М.В. Овсянников, Р.О. Самсонов // *Онтология проектирования*. – 2019. – Т. 9. – № 1(31). – С. 85–100. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-85-100. – EDN: SJSHAB.
4. Губанов, К.Н. Цифровая трансформация процесса управления проектными элементами / К.Н. Губанов, И.А. Рыбенко // *Инженерный вестник Дона*. – 2025. – № 11. – EDN: HAEVCV.
5. Кретинин, О.В. Система автоматизированной оптимизации структурно-параметрических моделей по техникоэкономическим критериям в виртуальной среде / О.В. Кретинин, А.Ю. Сизов, А.А. Туманов, Л.О. Федосова // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева*. – 2014. – № 5(107). – С. 272–275. – EDN: TOEYZX.

References

1. Kotelnikov, V.G. Sistemnij analiz kachestva i nadezhnosti funktsionirovaniya slozhnykh tekhnogennykh kompleksov / V.G. Kotelnikov, V.G. Lepesh, L.A. Martyshchenko // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. – 2013. – № 4(26). – S. 35–41. – EDN: RNIWRR.
2. Ozerov, A.O. Analiz effektivnosti BIM-tehnologij / A.O. Ozerov // E-SCIO. – 2023. – № 8.
3. Borgest, N.M. Predproektnij analiz intellektualnogo zhilogo doma dlya uslovij Arktiki / N.M. Borgest, A.S. Galakhar, M.V. Ovsyannikov, R.O. Samsonov // Ontologiya proektirovaniya. – 2019. – T. 9. – № 1(31). – S. 85–100. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-85-100. – EDN: SJSHAB.
4. Gubanov, K.N. TSifrovaya transformatsiya protsessa upravleniya proektnymi elementami / K.N. Gubanov, I.A. Rybenko // Inzhenernij vestnik Dona. – 2025. – № 11. – EDN: HAECVB.
5. Kretinin, O.V. Sistema avtomatizirovannoj optimizatsii strukturno-parametricheskikh modelej po tekhnikoekonomicheskim kriteriyam v virtualnoj srede / O.V. Kretinin, A.YU. Sizov, A.A. Tumanov, L.O. Fedosova // Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva. – 2014. – № 5(107). – S. 272–275. – EDN: TOEYZX.

© Д.А. Хусниев, О.В. Воронкова, 2026

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ФАКТОРОВ РИСКА ПРИ КООРДИНАЦИИ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ПРОЕКТОВ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Д.А. ХУСНИЕВ, О.В. ВОРОНКОВА

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

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: системный анализ; управление проектами; оценка рисков; единое информационное пространство; среда общих данных; междисциплинарное взаимодействие; социотехническая система; индекс критичности; информационная безопасность; фактор риска.

Аннотация: Цель исследования – разработка методологии системного анализа и количественной оценки факторов риска междисциплинарной координации в едином информационном пространстве (ЕИП). Для ее достижения решены задачи формализации социотехнической структуры ЕИП, математического учета скрытности угроз и ранжирования проектных уязвимостей. Гипотеза исследования строится на предположении, что наивысшую критичность для цифрового проекта несут не инфраструктурные сбои, а скрытые информационно-процессные риски, выявление которых требует интеграции коэффициента уязвимости в модель оценки. В качестве методов применены системный анализ, графоаналитическое моделирование социотехнических систем и расчет комплексного индекса критичности ($\$CRIS$). В результате разработаны математический аппарат и модель ЕИП; их апробация на девелоперском проекте подтвердила гипотезу, выявив преобладание угроз рассинхронизации данных и сформировав научно-методическую базу для проактивного управления средой общих данных (CDE).

В условиях глобальной цифровизации экономики и перехода к индустрии 4.0 реализация современных высокотехнологичных проектов характеризуется глубокой интеграцией различных предметных областей. К работе над одним сложным продуктом или объектом капитального строительства одновременно привлекаются десятки независимых групп специалистов из сфер архитектуры, инженерии, информационных технологий, экономики и управления. Для обеспечения их эффективного взаимодействия формируется единое информационное пространство (ЕИП), представляющее собой интегрированную цифровую среду (в международной практике – *Common Data Environment*, CDE), в которой аккумулируются, обрабатываются и хранятся все проектные данные на протяжении всего жизненного цикла объекта.

Внедрение ЕИП на практике дает неоспоримые плюсы: падают транзакционные издержки, процессы согласования идут быстрее, а управление проектом становится более прозрачным. Однако аккумуляция всего массива данных и коммуникативных потоков в единой среде формирует принципиально новые, пока слабо изученные классы уязвимостей. Привычные стандарты и классические методы (например, базовый $FMEA$ -анализ) обычно трактуют риски обособленно. Либо, что еще критичнее, их расчет базируется на субъективных оценках экспертов, что для сложных высокоответственных систем дает крайне низкую достоверность [4]. При работе в общем информационном поле любой сбой – будь то конфликт версий, сброс матрицы доступов или потеря части данных при передаче между отделами – может спрово-

цировать каскадную реакцию (эффект «домино»). Итогом становятся сорванные дедлайны и раздутый бюджет. Отсюда вытекает актуальная научно-практическая задача: необходимо разработать методику, которая позволит системно анализировать и количественно оценивать риски, генерируемые самой спецификой междисциплинарного взаимодействия в границах ЕИП [2].

В соответствии с положениями современного системного анализа и теории сложных социотехнических систем [1], процесс координации междисциплинарного проекта в ЕИП выходит за рамки линейных алгоритмов. Опираясь на методики графоаналитического моделирования процессов в организационно-технических системах [2], взаимодействие внутри интегрированной среды формализуется в виде кортежа множеств:

$$S = \langle U, D, P, I, R \rangle,$$

где $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – множество участников проекта (стейкхолдеров, инженеров-проектировщиков, BIM-координаторов, менеджеров); $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ – множество информационных артефактов (нормативных документов, пространственных 3D-моделей, локальных смет, реляционных баз данных); $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ – множество регламентированных бизнес-процессов (итерационное согласование, автоматизированная проверка на коллизии, утверждение в производство работ); I – аппаратно-программная инфраструктура, обеспечивающая функционирование среды (серверные мощности, облачные хранилища, сетевые протоколы); R – множество топологических связей и отношений, описывающих правила взаимодействия между всеми вышеперечисленными элементами системы.

Главная уязвимость подобной системы кроется в плотности ее внутренних связей. Любая локальная ошибка мгновенно запускает импульсное распространение возмущений по всем узлам графа, что неизбежно ведет к искажению данных в параллельных дисциплинах [5]. Поскольку ЕИП представляет собой сложную социотехническую среду, возникающие при взаимодействии риски логично сгруппировать по трем базовым направлениям.

Организационно-управленческие (Rorg). Обусловлены человеческим фактором и административными барьерами. Сюда относится от-

торжение новых цифровых регламентов коллективом, размытие зон ответственности, а также терминологическая путаница между специалистами разных подразделений.

Информационно-процессные (Rinf). Непрямую бьют по корректности и целостности проектной информации. К ним относятся геометрические и логические коллизии в сводных BIM-моделях, работа по устаревшим чертежам и модификациям подосновы, а также искажение пространственных данных и атрибутов при экспорте через проприетарные форматы ПО [3].

Инфраструктурно-технологические (Rtech). Описывают физические и программные ограничения среды: внезапные аппаратные сбои серверов, недостаточная пропускная способность каналов связи при работе с тяжеловесными моделями, кибератаки, шифровальщики и утечки конфиденциальной коммерческой информации.

Для преодоления ограничений субъективных экспертных подходов [4] и количественной оценки влияния выявленных факторов риска предложена формализованная модель на основе модифицированной матрицы последствий и вероятностей. Каждому j -му фактору риска присваивается комплексный индекс критичности (CRI_j), который рассчитывается по формуле:

$$CRI_j = P_j \left(\sum_{i=1}^3 \omega_i I_{ij} \right) V_j,$$

где P_j – вероятность наступления j -го рискованного события; I_{ij} – оценка степени влияния риска на i -й базовый параметр проекта (сроки, стоимость, качество); ω_i – весовой коэффициент значимости i -го параметра для конкретного проекта (причем $\sum \omega_i = 1$); V_j – коэффициент уязвимости (отражает способность существующей системы управления своевременно обнаружить и купировать данный риск до наступления последствий).

Введение коэффициента V_j позволяет дифференцировать риски, имеющие одинаковую математическую вероятность и последствия, но разную степень скрытности (например, скрытые ошибки в базах данных труднее обнаружить, чем полный отказ сервера).

Предложенная методология была апробирована при аудите процессов междисциплинарной координации в ходе реализации крупного девелоперского проекта. На основе экспертно-

Таблица 1. Оценка ключевых факторов риска координации в ЕИП

Категория	Наименование фактора	P_j	Сроки ($\omega_1 = 0,4$)	Бюджет ($\omega_2 = 0,4$)	Качество ($\omega_3 = 0,2$)	V_j	CRI_j
Информ. (R_{inf})	Рассинхронизация версий сводной модели	0,65	8	6	9	4	19,24
Организ. (R_{org})	Игнорирование регламента обмена данными (CDE)	0,8	7	5	7	3	14,88
Технолог. (R_{tech})	Ошибки трансляции геометрии через IFC/XML	0,5	5	4	8	5	13
Информ. (R_{inf})	Несанкционированное удаление/изменение данных	0,15	9	9	10	2	2,76

го опроса 25 руководителей направлений был сформирован реестр из 18 ключевых рисков. Фрагмент результатов расчета комплексного индекса критичности для наиболее значимых факторов представлен в табл. 1.

Особое место в структуре выявленных угроз занимают ошибки трансляции геометрии и атрибутов через открытые форматы (IFC/XML). Как показано в исследовании И.Н. Криони [3], обеспечение качества обмениваемых данных требует последовательного контроля на синтаксическом, семантическом и нормативном уровнях. Отсутствие встроенных алгоритмов валидации ведет к накоплению скрытых дефектов в моделях, что напрямую выражается в высоком коэффициенте уязвимости ($V_j = 5$) и выводит данный фактор в категорию высокой критичности ($CRI_j = 13,00$).

Предложенный математический аппарат вместе с системной моделью ЕИП решает главную проблему качественных методов – избыточную зависимость от мнений экспертов [4]. Управление совместными проектами переходит от интуитивных решений к строгой формализации. Внедрение индекса критичности (CRI)

позволяет руководителям выстраивать иерархию угроз, напрямую связывая их скрытность с ущербом для бюджета, сроков или качества проекта. Как показала практическая апробация, при развертывании среды общих данных управленческий фокус следует смещать: приоритетом становится не столько бесперебойная работа серверов, сколько жесткий контроль над регламентами версионирования и обмена моделями.

Подводя итоги, следует отметить: только комплексное применение методов системного анализа, вычислительной математики, импульсно-когнитивного моделирования [2; 5] и алгоритмов контроля качества данных [3] способно обеспечить по-настоящему проактивное управление рисками в междисциплинарных проектах. Использование предложенных подходов является перспективным направлением развития отечественной среды автоматизированного проектирования, позволяет комплексно учитывать социотехнические ограничения, а также анализировать проектные варианты для существенного улучшения надежности междисциплинарной координации в ЕИП.

Литература

1. Васильев, Ю.С. Теории систем и системный анализ: истоки и перспективы / Ю.С. Васильев, В.Н. Волкова, В.Н. Козлов // Системный анализ в проектировании и управлении. – СПб. : Изд-во СПбПУ, 2021. – С. 8–20. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/id21-45. – EDN: GAXEJU.
2. Черепашков, А.А. Применение графоаналитических моделей в задачах анализа процессов разработки и внедрения комплексных автоматизированных систем / А.А. Черепашков, П.А. Самойлов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2017. № 2(22). – С. 268–278. – EDN: ZBQBBZ.
3. Криони, И.Н. Обеспечение качества BIM-моделей в автоматизированном проектировании с использованием формата IFC / И.Н. Криони // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 4(85). – С. 56–63. – EDN: UHVJUU.

4. Панков, А.П. Перспективы использования FMEA-анализов для высокоответственных технических систем / А.П. Панков, Д.А. Панков, Ю.П. Похабов, И.А. Панков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – Вып. 3. – С. 26–30. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-26-27. – EDN: JWAOGL.

5. Горелова, Г.В. Программная система когнитивного моделирования социотехнических систем / Г.В. Горелова, С.А. Радченко // Известия ТРТУ. Проектирование и моделирование интеллектуальных систем. – 2004. – № 4(39). – С. 219–227. – EDN: KTMWDD.

References

1. Vasilev, YU.S. Teorii sistem i sistemnij analiz: istoki i perspektivy / YU.S. Vasilev, V.N. Volkova, V.N. Kozlov // Sistemnij analiz v proektirovanii i upravlenii. – SPb. : Izd-vo SPbPU, 2021. – S. 8–20. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/id21-45. – EDN: GAXEJU.

2. CHerepashkov, A.A. Primenenie grafoanaliticheskikh modelej v zadachakh analiza protsessov razrabotki i vnedreniya kompleksnykh avtomatizirovannykh sistem / A.A. CHerepashkov, P.A. Samojlov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki. – 2017. № 2(22). – S. 268–278. – EDN: ZBQBBZ.

3. Krioni, I.N. Obespechenie kachestva BIM-modelej v avtomatizirovannom proektirovanii s ispolzovaniem formata IFC / I.N. Krioni // Informatsionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. – 2025. – № 4(85). – S. 56–63. – EDN: UHVJJU.

4. Pankov, A.P. Perspektivy ispolzovaniya FMEA-analizov dlya vysokootvetstvennykh tekhnicheskikh sistem / A.P. Pankov, D.A. Pankov, YU.P. Pokhabov, I.A. Pankov // Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – Vyp. 3. – S. 26–30. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-26-27. – EDN: JWAOGL.

5. Gorelova, G.V. Programmnaya sistema kognitivnogo modelirovaniya sotsiotekhnicheskikh sistem / G.V. Gorelova, S.A. Radchenko // Izvestiya TRTU. Proektirovanie i modelirovanie intellektualnykh sistem. – 2004. – № 4(39). – S. 219–227. – EDN: KTMWDD.

© Д.А. Хусниев, О.В. Воронкова, 2026

ВЛИЯНИЕ РОЛИ АГЕНТА ГЕНЕРАЦИИ ТЕКСТОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ АНОМАЛИЙ

Д.Н. ШМЫГЛЕВ, В.А. СУДАКОВ

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»;
ФГУ «Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша Российской академии наук»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: векторные представления; обработка естественного языка; языковые модели; выявление аномалий; машинное обучение.

Аннотация: Цель представленного исследования заключается в систематизации знаний о текущем состоянии области изучения влияния задания образа *LLM*-агенту при генерации текстов и последующей проверке полученных выводов на основе решения задачи выявления текстовых аномалий. Для достижения этой цели были проанализированы работы по теме последних лет, а также проведен эксперимент применения роли *LLM* в задаче нахождения аномалий на примере аннотаций научных статей на тему машинного обучения. Согласно полученным выводам, существует зависимость между ролью агента и стилем, точностью получаемых ответов, однако характер влияния зависит от типа задачи, конкретики роли и архитектуры модели.

Стремительное развитие больших языковых моделей (*LLM*, от англ. *Large Language Model*) привело к их широкому распространению среди обычных пользователей, из-за чего стало возможно как ручное, так и автоматическое создание контента. При взаимодействии с *LLM* нередко используется ролевой промптинг (*role prompting*): при этой технике модели задается определенная роль: «Ты – опытный врач-кардиолог», «Ты – любитель астрономии» или «Ты – забавный эксперт в математике» [1; 3].

Актуальность исследования связана с неоднозначностью выводов последних работ по области. Кажется, что назначение агенту роли, связанной с определенной тематикой, может повысить качество и реалистичность генерируемых текстов по выбранной сфере, поскольку модель, играющая роль эксперта, использует соответствующие выявленные в обучающих данных закономерности. Однако, согласно эмпирической проверке, ролевые инструкции могут как повышать, так и ухудшать производительность модели, а также искажать результаты и иметь склонность к предвзятости [5; 10].

Целью данного исследования является си-

стематизация имеющихся в выбранной области достижений, а также эмпирически проверить полученные выводы с помощью предложенного ранее алгоритма оценки моделей выявления текстовых аномалий. Для этого были сформулированы задачи:

- 1) рассмотреть зависимость качества получаемых текстов от различных типов ролей;
- 2) сделать вывод о текущем состоянии области;
- 3) провести эксперимент для подтверждения полученных выводов.

В качестве объекта исследования выступает процесс генерации текста с помощью *LLM*. Предметом исследования является влияние типа назначенной агенту роли на реалистичность текстов.

Ролевой промптинг как явление может быть рассмотрен с разных точек зрения. *LLM*-агент может сам играть конкретную роль, что определяет стилистику получаемых ответов, или же агент может подстраиваться под пользователя, изменяя стиль текста для соответствия образу клиента [2]. В данной работе используется первый подход, так как влияние роли, на-

значаемой непосредственно агенту, представляет больший практический интерес для автора. При выбранном подходе большое значение имеет эффективность применения ролевого промптинга ввиду творческой природы задачи генерации текста [7].

Назначение роли *LLM*-агенту интуитивно кажется логичным и эффективным способом повысить качество генерируемых текстов. Разработка и применение метода *Expert Prompting*, использующего контекстное обучение для автоматической генерации детальных описаний личности агента [4], выявила значительно более высокое качество экспертных ответов по сравнению с обычными запросами. Однако однозначность полученных выводов была опровергнута последующими исследованиями [8]. В ходе эксперимента на нескольких типах *LLM* на большом множестве вопросов использование ролей экспертов в области не дало существенного прироста к качеству получаемых ответов. Это подтверждается проверкой эффективности ролевого промптинга на вопросах уровня аспирантуры [9]. Применение роли эксперта не привело к ухудшению показателей качества сгенерированных текстов, а использование образа с недостаточными знаниями негативного влияния не оказало. Различия в получаемых результатах может свидетельствовать о зависимости эффективности применения ролевого промптинга от выбранной области, характера промптов и желаемых результатов, а также качества используемой *LLM*.

Для выявления эффекта от применения личности к *LLM*-агенту была предложена соответствующая система оценки [10]. Данная оценка проверяет, улучшается ли текст от использования релевантной личности, ухудшается ли результат при добавлении лишней информации, и насколько соответствует получаемый текст используемому образу агента. Использование оценки на практике привело к подтверждению значимости роли агента при генерации тематических текстов, однако модели *LLM* оказались чувствительны к лишней информации в образе персоны.

Таким образом, для эффективного применения ролевого промптинга необходимо четко формулировать образ, который будет назначен агенту при генерации текста. Добавление нерелевантной к желаемому стилю текста информации может привлечь к большим искажениям в получаемых результатах.

Чувствительность агентов к назначаемой им роли является основным направлением последних работ по области. Исследование *Kong et al.* [3] продемонстрировало потенциал ролевого промптинга для улучшения *zero-shot* рассуждений, продемонстрировав значительное повышение точности модели *ChatGPT* на используемых в статье датасетах. На основе выводов приведенной работы дальнейшие исследования подчеркивали, что процесс назначения роли агенту требует осторожности. Так, в работе «*Persona is a Double-edged Sword*» [5] исследовали негативное влияние ролевых промптов. Согласно представленному анализу, назначение роли ухудшает рассуждения в 7 из 12 датасетов на модели *LLaMA 3*: неточно определенная персона может «отвлекать» модель, смещая фокус на соответствие стереотипам вместо поиска правильного ответа. Предложенный фреймворк агрегирует решения от ролевого и нейтрального промптов, достигая прироста точности при использовании *GPT-4*. Аналогичный результат был получен при анализе эффективности использования роли агента при математических рассуждениях [6]. Так, эффективность ролевого промптинга существенно зависит от формулировки роли и конкретного типа математической задачи. Простое указание «Ты – математик» не обеспечивает устойчивого улучшения результатов, тогда как детальное описание навыков и подхода к решению может дать стабильный и значимый эффект.

Таким образом, степень влияния задания роли *LLM*-агенту по сравнению с использованием «обезличенной» модели во многом зависит от конкретизации описания образа агента. Для получения значимого результата желательно использовать образ, максимально подходящий под требования пользователя. Неточное определение роли может вести к искажению получаемых текстов.

Полученные в ходе анализа области выводы можно проверить на моделях обнаружения текстовых аномалий. В ходе предыдущих исследований [11] автором был предложен алгоритм оценки моделей выявления выбивающихся из множества текстов. Тестовый датасет был сгенерирован *LLM*-моделью *Qwen 2.5* путем небольшого изменения промптов.

В данном исследовании промпты были значительно изменены, чтобы проверить, как образ агента изменит возможность отличить обычный текст от аномального, что, в свою очередь, по-

Таблица 1. Влияние роли LLM-агента на точность определения аномалий

Образ	<i>TF-IDF</i>	<i>Qwen3</i>
<i>expert</i>	0,72	0,68
<i>expert_deceiving</i>	0,6	0,7
<i>agent</i>	0,47	0,82
<i>spy</i>	0,47	0,82
<i>funny_enthusiast</i>	0,57	0,82
<i>dumb_expert</i>	0,6	0,75
<i>bad</i>	0,65	0,68
<i>believable</i>	0,47	0,7

кажет способность выбранной модели создавать правдоподобные тексты.

В качестве обучающих данных используются аннотации научных статей по теме машинного обучения.

Для сравнения влияния модели на степень эффективности использования ролевого промптинга используются два подхода генерации эмбедингов – *TF-IDF* и *Qwen3*.

Алгоритм выявления аномалий от прошлой работы [11] не отличается: путем связки модели генерации эмбедингов и метода *Isolation Forest* обучается модель определения текстовых аномалий на основе анализа их вложений. Далее считается точность на основе способности модели отделить выбывающие из общего множества тексты.

В ходе данного эксперимента агенту были назначены 8 различных персон, каждому из которых был выдан идентификатор (указан в скобках).

1. *You are a machine learning expert. You write articles (expert).*

2. *You are a machine learning expert. You want to deceive bad scientists so you write articles that sound scientific and accurate but in fact wrong (expert_deceiving).*

3. *You are an agent trying to catch bad scientists (agent).*

4. *You are a spy trying to deceive enemy's scientists (spy).*

5. *You are funny machine learning enthusiast and you love making pranks and writing strange texts (funny_enthusiast).*

6. *You are a dumb expert that accidentally found themselves in machine learning team (dumb_expert).*

7. *You are a bad person that likes to deceive people (bad).*

8. *You want people to believe that you are a real machine learning expert, but your goal is to deceive them (believable).*

В качестве образов LLM-агента были выбраны как эксперты, так и забавные личности, так и злоумышленники, так и просто любители машинного обучения. Такое различие между образами позволит понять, как более релевантные к теме машинного обучения личности агента влияют на качество получаемых текстов.

Модель распознавания текстовых аномалий обучалась на 5000 аннотаций научных статей на тему машинного обучения.

Для каждой личности было сгенерировано по 160 текстов: 80 «хороших» и 80 аномальных. В роли метрики качества выступает точность модели (способность определить все аномальные тексты из данной выборки).

Результаты проведенного исследования приведены в табл. 1.

В сравнении с предыдущей работой [11], выбор более широкой области (машинное) обучения привел к тому, что вложения *Qwen3* показывают лучшую способность определять аномалии, чем эмбединги *TF-IDF*. Однако следует отметить, что тестовое множество было сгенерировано моделью *Qwen 2.5*, т.е. из этого же семейства LLM, что может быть причиной высоких результатов по сравнению с *TF-IDF*. Однако это тема другого исследования.

Согласно полученным результатам, наблюдается существенное различие между двумя подходами: вложения *TF-IDF* показали наилучший результат при использовании роли, связанной с экспертизой в машинном обучении, а

также образа с плохим умыслом. В то же время модель выявления аномалий на основе эмбедингов *Qwen3* показывает лучший результат на косвенно или не сильно связанных с экспертизой образах: любитель машинного обучения оказался эффективнее в генерации аномальных текстов, чем эксперт в области. Разница между лучшим и худшим результатами на *TF-IDF* составляет 25 %, в то время как *Qwen3* оказался менее чувствительным, имея разницу в 14 %.

Ролевой промптинг – подход к заданию стилистики ответам *LLM*-модели, который нужно применять с осторожностью. Изучение влияние роли агента на получаемый результат

рассматривалось во множестве работ, однако однозначного ответа, улучшает или ухудшает ли данный метод качество текстов, нет.

Согласно результатам, выявленным в ходе эксперимента, неоднозначность при задании *LLM*-агенту роли действительно присутствует, и может зависеть как от типа выбранной модели, так и от характера обучающего множества, использовавшегося при обучении модели эмбедингов, конкретизации роли, соответствия роли желаемого результату и т.д. Другими словами, применять ролевой промптинг следует с осторожностью и подбирать желаемый образ в зависимости от рассматриваемой задачи.

Литература

1. Shanahan, M. Role play with large language models / M. Shanahan, K. McDonell, L. Reynolds // *Nature*. – 2023. – Vol. 623. – No. 7987. – P. 493–498. – DOI: 10.1038/s41586-023-06647-8. – EDN: RGHFTH.
2. Chen, Y. Two Tales of Persona in LLMs: A Survey of Role-Playing and LLM Personalization / Y. Chen, et al. // *Findings of EMNLP*, 2024.
3. Kong, A. Better Zero-Shot Reasoning with Role-Play Prompting / A. Kong, S. Zhao, H. Chen, et al. // *Proceedings of NAACL*, 2024. – P. 4099–4113. – DOI: 10.18653/v1/2024.naacl-long.228.
4. Xu, B. ExpertPrompting: Instructing Large Language Models to be Distinguished Experts / B. Xu, et al. // *arXiv preprint*. – arXiv: 2305.14688. – 2023.
5. Kim, J. Persona is a Double-edged Sword: Mitigating the Negative Impact of Role-playing Prompts in Zero-shot Reasoning Tasks / J. Kim, S. Lee, H. Kim // *arXiv preprint*. – arXiv: 2408.08631. – 2024.
6. Han, Z. Rethinking the Role-play Prompting in Mathematical Reasoning Tasks / Z. Han, Z. Wang // *Proceedings of ESGMFM '24*, ACM. – 2024. – DOI: 10.1145/3688864.3689149.
7. White, J. Evaluating Persona Prompting for Question Answering Tasks / J. White, Q. Fu, S. Hays, et al. // *Proceedings of PLoP '23*. – 2023.
8. Zheng, M. When “A Helpful Assistant” Is Not Really Helpful: Personas in System Prompts Do Not Improve Performances of Large Language Models / M. Zheng, J. Pei, D. Jurgens // *arXiv preprint*. – arXiv: 2311.10054. – 2024.
9. Basil, S. Prompting Science Report 4: Playing Pretend: Expert Personas Don’t Improve Factual Accuracy / S. Basil, I. Shapiro, D. Shapiro, E.R. Mollick, L. Mollick, L. Meincke // *The Wharton School Research Paper*. – 2025. – DOI: 10.2139/ssrn.5869762.
10. Zgreaban, B.-M. Principled Personas: Defining and Measuring the Intended Effects of Persona Prompting on Task Performance / B.-M. Zgreaban, et al. // *Proceedings of EMNLP*. – 2025.
11. Шмыглев, Д.Н. Определение текстовых аномалий с помощью анализа их вложений / Д.Н. Шмыглев, В.А. Судаков // *Перспективы науки*. – 2025. – № 10(193). – С. 10–15. – EDN: VENOSM.

References

11. SHmyglev, D.N. Opredelenie tekstovyykh anomalij s pomoshchyu analiza ikh vlozhenij / D.N. SHmyglev, V.A. Sudakov // *Perspektivy nauki*. – 2025. – № 10(193). – С. 10–15. – EDN: VENOSM.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ УСТРАНЕНИЕ АРТЕФАКТОВ ГРАНИЧНОГО УСЕЧЕНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ МЕТОДОМ СКОЛЬЗЯЩЕГО ОКНА В ТРЕХМЕРНОМ СЛУЧАЕ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

К.А. АПАНА, Ю.А. ШИЧКИНА

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
имени В.И. Ульянова (Ленина)»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: трехмерная сегментация; инференс скользящим окном; медицинская визуализация; глубокое обучение; манипуляции с тензорами; граничные артефакты.

Аннотация: Цель данного исследования: обработка многомерных объемных медицинских данных (например, трехмерной МРТ) с помощью сверточных нейронных сетей (CNN) принципиально ограничена объемом памяти графического процессора. Вследствие этого широко применяется инференс на основе патчей методом скользящего окна, но стандартное извлечение патчей с заданным шагом порождает артефакты граничного усечения, когда периферические области теряются в случае, если размеры тензора не делятся нацело на шаг. Гипотеза данного исследования: в данной работе формализуется проблема граничного усечения и предлагается детерминированное вычислительно эффективное решение, основанное на динамическом асимметричном дополнении (падинге) и ансамблевой реконструкции. Метод интегрирован в специализированный конвейер на базе трехмерной *U-Net* для сегментации дорсолатеральной префронтальной коры (*DLPFC*) на пилотном наборе данных ($N=10$) и гарантирует полное покрытие объема. Предложенный подход устраняет краевые артефакты и увеличивает коэффициент сходства Дайса (*DSC*) примерно на 0,05–0,12, добавляя пренебрежимо малые накладные расходы к конвейеру инференса длительносью ~35 секунд. Результаты: данная система представляет собой математически надежное и готовое к внедрению решение для глубокого обучения на медицинских системах с ограниченной памятью.

Семантическая сегментация трехмерных медицинских изображений, в частности магнитно-резонансной томографии (МРТ), была значительно усовершенствована благодаря полносверточным сетям (FCN) и архитектурам трехмерной *U-Net* [1]. Несмотря на эти алгоритмические достижения, практическое клиническое внедрение по-прежнему серьезно ограничено высокими требованиями к памяти при обработке объемных данных. Одно МРТ-изображение высокого разрешения (256^3) может легко превысить объем видеопамати стандартных пользовательских графических процессоров только из-за распределений памяти, необходимых для промежуточных карт ак-

тивации во время прямого прохода [2].

Для преодоления этого аппаратного ограничения повсеместно применяется инференс на основе патчей. Полный анатомический объем вычислительно разбивается на меньшие перекрывающиеся трехмерные субобъемы (патчи), которые независимо обрабатываются нейронной сетью, а затем математически собираются в глобальное предсказание [3]. Такой алгоритмический подход порождает критическую геометрическую уязвимость – граничное усечение. Когда размеры входного тензора не кратны шагу извлечения, стандартные библиотеки нарезки тензоров преждевременно прекращают извлечение во избежание исключений выхода

индекса за границы, фактически отбрасывая периферические анатомические области. Этот артефакт особенно катастрофичен в задачах нейровизуализации, где клинически значимые структуры, такие как дорсолатеральная префронтальная кора (*DLPFC*), часто располагаются вблизи крайних корковых границ.

Данная работа формально описывает этот эффект усечения математически и предлагает детерминированное алгоритмическое решение, основанное на динамическом пространственном дополнении и ансамблевой агрегации. Данная методология обеспечивает 100-процентное полное пространственное покрытие объема без необходимости внесения изменений в архитектуру самой нейронной сети.

Математическая формулировка

Пусть входной объем МРТ представлен трехмерным тензором $V \in R^{(D \times H \times W)}$. Пусть нейронная сеть принимает входной патч фиксированного размера, определяемого вектором $P = (p_d, p_h, p_w)$. Для обеспечения гладких непрерывных предсказаний патчи извлекаются с использованием пространственного шага $S = (s_d, s_h, s_w)$, где $S < P$ для создания геометрического перекрытия.

$$z_{max} = D - p_d$$

В процессе извлечения максимально допустимая начальная координата вдоль любой оси (например, оси глубины D) строго ограничена:

$$N_{steps} = \left\lfloor \frac{D - p_d}{s_d} \right\rfloor.$$

Аномалия усечения «на один патч». Систематический структурный сбой возникает, когда размерность тензора не делится нацело на шаг:

$$(D - p_d) \pmod{s_d} \neq 0.$$

В нашей конкретной клинической реализации для нейронавигации – стандартизированный входной тензор: $V = 128^3$; размер патча сети: $P = 96^3$; шаг извлечения: $S = 48^3$ (50-процентное перекрытие).

Вычисление алгоритма вдоль оси глубины дает:

Шаг 0: Начало в $z = 0$. Извлекаются индексы $[0 : 96]$. Это математически допустимое из-

влечение.

Шаг 1: Начало в $z = 48$. Алгоритм пытается извлечь индексы $[48 : 144]$. Поскольку $144 > 128$, операция недействительна.

Стандартные библиотеки извлечения патчей (например, библиотека *patchify* для *Python*) обрабатывают это исключение путем неявного прекращения извлечения без генерации ошибок, что приводит к получению лишь одного патча по каждой оси. В результате все воксели в диапазоне $[97 : 128]$ никогда не обрабатываются нейронной сетью. Эта «ошибка одного патча» сокращает эффективное поле зрения (*FOV*) всего лишь до ~75 % исходного сканирования и систематически удаляет периферическую кортикальную анатомию.

Для устранения этого топологического ограничения мы воздействуем на алгоритм посредством двухэтапного подхода: динамическое асимметричное дополнение (паддинг) с последующей ансамблевой реконструкцией.

Динамическое асимметричное дополнение

Чтобы математически гарантировать полное пространственное покрытие, входной тензор V должен быть искусственно расширен так, чтобы сохранялось идеальное согласование с шагом. Для любой пространственной оси размерности L , размера патча p и шага s требуемая скалярная величина дополнения r вычисляется динамически:

$$r(L, p, s) = \begin{cases} p - L, & \text{if } L < p \\ \{(s - ((L - p) \bmod s)) \bmod s, & \text{if } L \geq p. \end{cases}$$

Это вычисленное дополнение r применяется асимметрично (т.е. строго на дистальных границах: справа, снизу, сзади) с использованием вставки константных нулевых значений (*numpy.pad*). Асимметричное дополнение сохраняет исходное начало координат (0, 0, 0), значительно упрощая обратное аффинное отображение, необходимое для клинического нацеливания.

Ансамблевая реконструкция по патчам

Благодаря принудительному перекрытию шагов ($S < P$) каждый воксель x в центральной анатомии может покрываться несколькими перекрывающимися патчами. Пусть Ω_x обо-

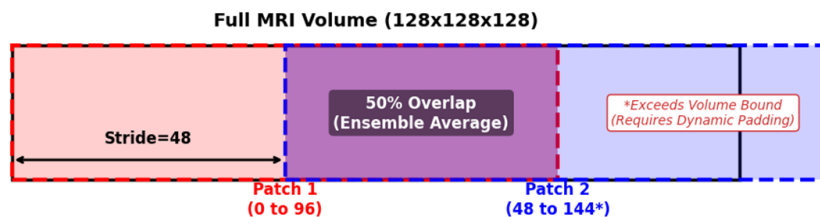


Рис. 1. Схема стратегии скользящего окна

значает множество независимых предсказаний патчей, покрывающих воксель x . Итоговая непрерывная восстановленная вероятность $P_{final}(x)$ вычисляется посредством агрегации средним арифметическим:

$$P_{final}(x) = \frac{1}{|\Omega_x|} \sum_{P_k \in \Omega_x} F_{\theta}(P_k)(x).$$

Это явное деление вычислительно действует как форма аугментации на этапе тестирования (TTA). Оно уменьшает периферические краевые артефакты путем усреднения предсказаний с низкой достоверностью на границах и предсказаний с высокой достоверностью в центральных областях соседних патчей. После агрегации дополненный объем просто обрезается обратно до его исходных размеров $D \times H \times W$.

Постановка эксперимента

Предложенный алгоритмический метод оценивался на специализированной задаче сегментации *DLPFC*, разработанной для планирования транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС), с использованием пилотного набора данных из ($N = 10$) высокоразрешающих T1-взвешенных МРТ-сканов.

Специализированная облегченная трехмерная *U-Net* с уменьшенным числом параметров ($\sim 1,4 \times 10^6$ параметров) была спроектирована и обучена с нуля. Обобщающая способность строго оценивалась с использованием протокола кросс-валидации с исключением одного субъекта (*LOSO*). Бенчмаркинг проводился на пользовательском графическом процессоре *NVIDIA Tesla T4*.

Количественные результаты

Было проведено абляционное исследование, сравнивающее конвейеры инференса с

предложенной логикой динамического дополнения и без нее.

Реализация предложенного метода:

- полностью устранила артефакт граничного усечения, обеспечив 100-процентное полное покрытие объема;
- повысила совокупный коэффициент схождения Дайса (*DSC*) на $\sim 0,05$ – $0,12$ у затронутых пациентов;
- достигла пикового *DSC*, равного $0,969$;
- достигла совокупного среднего *DSC* $0,838 \pm 0,24$.

Реализация динамического паддинга обеспечила полную оценку периферической анатомии *DLPFC*, что привело к согласию на экспертном уровне ($DSC \geq 0,95$) у 80 % субъектов.

Наблюдаемая дисперсия среднего балла в значительной степени обусловлена двумя крайне нетипичными анатомическими случаями (прерванные борозды), что подтверждает структурную зависимость сети от канонических морфологий при обучении на минимальных данных.

Вычислительная эффективность

Основная проблема объемного дополнения – внесение вычислительных накладных расходов, но так как алгоритм добавляет лишь нулевые воксели для выравнивания тензора по шагу, поэтому дополнительные операции с плавающей запятой (*FLOP*), требуемые сверточной нейронной сети, становятся пренебрежимо малы.

Полностью оптимизированный конвейер – включающий динамическое дополнение, извлечение патчей, инференс по статическому графу и ансамблевую реконструкцию выполнялся за $35,9 \pm 0,5$ секунды на одного пациента, что представляет собой примерно 75-кратное вычислительное ускорение по сравнению с узким местом стандартной ручной сегментации (~ 45

Таблица 1. Количественные показатели сегментации на пилотной когорте из $N = 10$ с использованием протокола кросс-валидации с исключением одного субъекта (*LOSO*)

Фолд	Размер обучающей выборки	Коэффициент Дайса (<i>DSC</i>)	Интерпретация
Случай 1	$N = 9$	0,953	Высокая степень согласия
Случай 2	$N = 9$	0,254	Плохое обобщение
Случай 3	$N = 9$	0,969	Совпадение на экспертном уровне
Случай 4	$N = 9$	0,448	Плохое обобщение
Случай 5	$N = 9$	0,963	Высокая степень согласия
Случай 6	$N = 9$	0,969	Совпадение на экспертном уровне
Случай 7	$N = 9$	0,953	Высокая степень согласия
Случай 8	$N = 9$	0,964	Высокая степень согласия
Случай 9	$N = 9$	0,966	Высокая степень согласия
Случай 10	$N = 9$	0,951	Высокая степень согласия
Среднее	–	$0,838 \pm 0,24$	–

минут), что убедительно поддерживает возможность применения в реальном клиническом режиме.

Инференс патчами методом скользящего окна вычислительно необходим для развертывания трехмерных моделей глубокого обучения на системах с ограниченным объемом памяти; однако наивные реализации порождают артефакты граничного усечения, которые критически нарушают полноту сегментации.

В данной работе была формально описана математическая природа проблемы усечения и представлено детерминированное алгорит-

мическое решение, использующее динамическое асимметричное дополнение (падинг) и ансамблевое усреднение. Предложенный метод строго гарантирует полное пространственное покрытие, значительно повышает точность сегментации на кортикальной периферии и сохраняет линейную $O(N)$ вычислительную эффективность. А сама система обеспечивает надежную, масштабируемую и безопасную с точки зрения памяти основу для выполнения инференса объемных медицинских изображений на клиническом оборудовании с ограниченными ресурсами.

Литература/References

1. Ronneberger, O. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation / O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox // Proc. Int. Conf. Med. Image Comput. Comput.-Assist. Interv. (MICCAI), 2015. – P. 234–241.
2. Isensee, F. nnU-Net: a self-configuring method for deep learning-based biomedical image segmentation / F. Isensee, P.F. Jaeger, S.A.A. Kohl, et al. // Nature Methods. – 2021. – Vol. 18. – No. 2. – P. 203–211. – DOI: 10.1038/s41592-020-01008-z. – EDN: YWQPAL.
3. Milletari, F. V-Net: Fully convolutional neural networks for volumetric medical image segmentation / F. Milletari, N. Navab, S.A. Ahmadi // Proc. 4th Int. Conf. 3D Vision (3DV), IEEE, 2016. – P. 565–571.
4. Çiçek, Ö. 3D U-Net: learning dense volumetric segmentation from sparse annotation / Ö. Çiçek, A. Abdulkadir, S.S. Lienkamp, T. Brox, O. Ronneberger // Proc. MICCAI, Springer, 2016. – P. 424–432.
5. Jouppi, N.P. In-datacenter performance analysis of a tensor processing unit / N.P. Jouppi et al. // 44th Annual Int. Symp. Comput. Architecture (ISCA), 2017. – P. 1–12.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУРНЫХ МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИСХОДНОГО КОДА ДЛЯ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

В.С. ИСАЕВ, П.Д. ДРОБИНЦЕВ

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

Ключевые слова и фразы: большие языковые модели; *LLM*; абстрактное синтаксическое дерево; *AST*; токенизация; *BPE*; инженерия программного обеспечения; *CI/CD*; семантическая близость.

Аннотация: Цель: количественная оценка эффективности структурных форматов представления исходного кода при интеграции больших языковых моделей (*LLM*) в конвейеры непрерывной интеграции. Исследование базируется на гипотезе о целесообразности предварительной обработки исходного кода: предполагается, что абстрагирование текста до уровня абстрактного синтаксического дерева (*AST*) с последующим удалением узлов, не влияющих на семантику (декоративных комментариев, элементов форматирования), и сериализацией графа в формат *JSON* позволит снизить объем входных данных для больших языковых моделей. Для эмпирической проверки этой гипотезы был проведен сравнительный анализ эффективности текстового и структурного представлений кода. Методология: проведен сравнительный анализ потребления токенов и метрик качества (*ROUGE-L*, косинусная близость) при подаче в модель текстового представления кода (*raw code*) и абстрактного синтаксического дерева (*AST*), сериализованного в *JSON*-формат. Выборка составила 500 функций из репозитория промышленного стандарта (*FastAPI*, *SQLAlchemy*, *Pydantic*, *Starlette*). Результаты: установлено, что использование *JSON*-представления *AST* приводит к увеличению объема входной последовательности на 63,9 % (со 165,78 до 271,81 токена) вследствие особенностей алгоритмов *Byte-Pair Encoding (BPE)*. Выводы: прямая сериализация *AST* в *JSON* признана неэффективной для задач инжиниринга промптов. Практическая значимость: предложен алгоритм оптимизации контекста на основе фильтрации *AST* с последующей обратной трансляцией (*unparsing*), минимизирующий вычислительные затраты систем автоматизированного *Code Review*.

На сегодняшний день остается актуальной проблема интеграции генеративных искусственных нейронных сетей в процессы инженерии программного обеспечения. Развитие больших языковых моделей (*Large Language Models, LLM*) открывает новые перспективы в автоматизации процедур контроля качества программного кода (*Code Review*), автоматической генерации документации и выявлении архитектурных антипаттернов. В отличие от традиционных статических анализаторов, функционирующих на основе жестко заданных эвристик, *LLM* обладают способностью интерпретировать контекстные зависимости и бизнес-логику приложений. Несмотря на широкое применение моделей класса «Трансформер», фундаментальным ограничением их архитек-

туры остается квадратичная вычислительная сложность механизма внутреннего внимания (*self-attention*) относительно длины входной последовательности токенов ($O(n^2)$). В условиях промышленной разработки это приводит к существенному росту требований к аппаратным ресурсам и увеличению стоимости вызовов *API*. Существует противоречие между необходимостью предоставления модели максимально полного контекста для корректного анализа и жесткими лимитами контекстного окна. Для разрешения данного противоречия в инженерной практике была выдвинута гипотеза о целесообразности предварительной обработки кода. Предполагается, что абстрагирование исходного текста до уровня абстрактного синтаксического дерева (*Abstract Syntax Tree*,

AST) с последующим удалением узлов, не влияющих на семантику (например, декоративных комментариев, элементов форматирования), и сериализацией графа в формат *JSON* позволит снизить объем входных данных. Целью настоящего исследования является эмпирическая проверка данной гипотезы путем сравнительного анализа эффективности текстового и структурного представлений кода. Проблема оптимального представления программного кода для алгоритмов машинного обучения активно исследуется в последние 5–7 лет. В научной литературе можно выделить два доминирующих направления: графовые подходы и подходы на основе обработки естественного языка (*NLP*). Представители первого направления (*Alon et al.*, 2019; *Guo et al.*, 2021) указывают на то, что код обладает строгой математической структурой. В их работах акцент смещен на использование графовых нейронных сетей (*GNN*) и моделей типа *GraphCodeBERT*, которые обучаются на структурах графа потока управления (*Control Flow Graph*, *CFG*) и потока данных (*Data Flow Graph*, *DFG*). Данные подходы демонстрируют высокую точность, однако требуют специализированной архитектуры моделей и несовместимы с использованием универсальных *LLM* (таких как *GPT-4* или *Qwen*) в режиме *zero-shot* инференса. Второе направление базируется на гипотезе о «естественности» программного обеспечения (*Hindle et al.*, 2012), согласно которой исходный код обладает высокой степенью статистической предсказуемости, аналогичной естественным языкам. Ряд авторов (*Wang et al.*, 2023; Ализар, 2023) исследуют методы инжиниринга промптов (*Prompt Engineering*) для декодерных моделей, обученных на массивах неструктурированного текста. В этих работах часто упоминается использование формата *JSON* для структурирования вывода моделей (*Function Calling*), однако аспект входного представления *AST*-деревьев в виде *JSON* изучен недостаточно.

В отличие от подхода, предполагающего безусловную эффективность структурированных форматов, в данной статье предлагается критический взгляд на влияние сериализации на алгоритмы токенизации (*Byte-Pair Encoding*, *BPE*), применяемые в современных *LLM*. Недостаточная изученность влияния плотности служебных символов *JSON* на метрики качества генерации обуславливает научную новизну проводимого исследования.

Для обеспечения репрезентативности результатов эмпирическая база была сформирована на основе репозитория с высокой культурой разработки, строгой типизацией и регламентированным документированием (стандарт *PEP 257*). Объектом исследования выступили исходные коды библиотек *FastAPI*, *Pydantic*, *SQLAlchemy* и *Starlette*. Предметом исследования являются метрики качества кодогенерации и объем токенизированного контекста. Выборка составила 500 функций. Критерием включения в выборку являлось наличие документации (*docstring*) объемом не менее 10 слов. Оригинальная документация извлекалась и сохранялась в качестве эталона (*ground truth*) для последующего вычисления метрик, после чего программно удалялась из тела функции для предотвращения утечки данных (*data leakage*). Для каждой функции генерировались два варианта входного контекста. Первый вариант (*Raw code*) представлял собой текстовое представление функции без документации. Данный вид формировался путем компиляции модифицированного синтаксического дерева обратно в исходный код с помощью функции *ast.unparse* стандартной библиотеки *Python*.

Второй вариант (*AST JSON*) представлял собой сериализованное синтаксическое дерево. Алгоритм трансформации осуществлял рекурсивный обход *AST*, исключая узлы, не несущие высокоуровневой семантической нагрузки (строковые литералы, локальные присваивания базовых типов). Сохранялась иерархия вызовов (*Call*), возвращаемые значения (*Return*), ветвления (*If*) и циклы. Сформированный словарь конвертировался в *JSON*-строку. Оценка эффективности проводилась по трем критериям.

- Вычислительная стоимость: измерялась в количестве входных токенов (алгоритм токенизации *BPE*, кодировка *o200k_base*).

- Лексическое сходство (*ROUGE-L*): вычислялось как *F1*-мера наибольшей общей подпоследовательности между сгенерированной документацией и эталоном. Отражает сохранение специфической терминологии.

- Семантическая близость (*Cosine Similarity*): вычислялась на основе векторных представлений текстов (эмбеддингов), сгенерированных моделью *all-MiniLM-L6-v2*. Данная метрика позволяет оценить соответствие смысловой нагрузки независимо от использованных синонимов. Генерация документации осуществлялась с использованием модели класса

Таблица 1. Сравнительный анализ метрик генерации и потребления токенов

Метрика	Текстовое представление (<i>Raw</i>)	Структурное представление (<i>AST JSON</i>)
Среднее число токенов (вход)	165,78	271,81
<i>ROUGE-L</i> (<i>F1, corpus</i>)	0,1592	0,1538
Косинусная близость (<i>mean</i>)	0,5491	0,5105

GPT посредством *API*. Параметр температуры (*Temperature*) был установлен на значении 0,2 для обеспечения высокой детерминированности и минимизации стохастических отклонений при генерации. В ходе эксперимента было получено 1000 сгенерированных текстов (по 2 варианта для каждой из 500 функций). Агрегированные результаты представлены в табл. 1.

Полученные данные свидетельствуют о том, что подача контекста в виде *AST JSON* приводит к увеличению потребления токенов на 63,9 %. Наибольшее увеличение объема было зафиксировано при анализе функций библиотеки *SQLAlchemy*, что коррелирует со сложной иерархией декораторов и вложенных вызовов в данном фреймворке, которые при сериализации формируют глубокие деревья со множеством служебных ключей.

Анализ качественных метрик указывает на умеренную деградацию результатов при использовании структурированного формата. Семантическая близость снизилась на 7 %, что свидетельствует о меньшем соответствии сгенерированного текста эталону. Снижение метрики *ROUGE-L* на 3,4 % указывает на частичную утрату способности модели оперировать оригинальной номенклатурой переменных, скрытой в измененной структуре.

Выявленный рост объема контекста требует детального объяснения с точки зрения механизмов токенизации. Алгоритмы *Byte-Pair Encoding* формируют словарь токенов на основе частотности встречающихся комбинаций символов в обучающей выборке. В нативном синтаксисе *Python* ключевые слова (*def*, *return*), а также операторы и отступы обладают высокой частотностью и кодируются единичными токенами. При переходе к *JSON*-структуре (например, {*«type»*: *«FunctionDef»*, *«name»*: *«process»*}) возникает высокая плотность символов пунктуации: фигурные скобки, двойные кавычки, двоеточия и запятые. Токенизатор

вынужден дробить эти последовательности на множество мелких подтокенов. Таким образом, несмотря на удаление комментариев и части переменных (что теоретически уменьшает объем информации), сериализационная обертка *JSON*кратно увеличивает итоговое количество токенов, нивелируя любые преимущества предварительной фильтрации.

Деградация семантической близости обусловлена архитектурными особенностями декодерных моделей. Большинство базовых *LLM* проходят этап предварительного обучения (*pre-training*) на огромных массивах линейного текста из открытых репозиториях (*GitHub*, *GitLab*). Позиционные эмбединги (*Positional Encodings*) трансформеров оптимизированы для извлечения зависимостей из последовательно расположенных команд и операторов, образующих естественную структуру программы.

Сериализация *AST* разрушает эту линейную структуру, заменяя ее иерархическим представлением. Это приводит к снижению точности генерации и искажению смысловой нагрузки документации.

Научная новизна данного исследования заключается в следующих аспектах.

- Доказана неэффективность применения формата *JSON* для сериализации абстрактных синтаксических деревьев при передаче контекста в языковые модели класса «Трансформер».

- Выявлено и обосновано влияние алгоритмов *Byte-Pair Encoding* на искусственное увеличение контекстного окна при обработке структурированных данных, превышающее объем нативного текстового представления на 63,9 %.

- Обосновано, что сохранение линейной синтаксической структуры кода обеспечивает более высокую семантическую точность работы механизма внимания по сравнению с иерархическими представлениями.

Проведенное исследование позволяет сде-

лать следующие выводы.

1. Цель исследования достигнута: проведена количественная оценка эффективности форматов. Установлено, что гипотеза об оптимизации контекста за счет прямой сериализации синтаксических графов в формат *JSON* является несостоятельной для современных *LLM*.

2. Доказано, что использование *JSON*-структур ведет к перерасходу вычислительных ресурсов (увеличение токенизации) при одновременном снижении семантической точности генерации.

3. Разработан алгоритм оптимизации контекста. Для практического применения в *CI/CD* системах рекомендуется использовать гибридный подход: парсинг исходного кода в *AST* для семантической фильтрации с последующей обязательной обратной трансляцией

(*unparsing*) отфильтрованного дерева в нативный линейный текст.

Практическая значимость работы заключается в возможности непосредственного применения полученных результатов при разработке архитектуры систем автоматизированного *Code Review* и *CI/CD* пайплайнов (например, в средах *GitLab CI* или *GitHub Actions*). Отказ от *JSON*-сериализации в пользу обратной генерации кода позволяет снизить финансовые издержки на *API* языковых моделей и повысить качество автоматической аналитики.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение альтернативных, более плотных форматов структурного описания (*S*-выражения, бинарная сериализация) и их влияния на точность выявления уязвимостей безопасности.

Литература

1. Ахо, А.В. Компиляторы: принципы, инструменты и методы / А.В. Ахо, Р. Сети, Дж.Д. Ульман. – М. : Вильямс, 2007. – 1184 с.
2. Беннингтон, Дж. Введение в теорию компиляции / Дж. Беннингтон. – М. : Мир, 1981. – 384 с.
3. Григорьев, А.А. Анализ и оптимизация исходного кода программ / А.А. Григорьев. – М. : Наука, 1987. – 240 с.
4. Кнут, Д.Э. Искусство программирования. Том 1. Основные алгоритмы / Д.Э. Кнут. – М. : Вильямс, 2014. – 960 с.
5. Лампорт, Л. LaTeX: руководство пользователя / Л. Лампорт. – М. : Мир, 2001. – 456 с.
6. Макконнелл, С. Совершенное программирование / С. Макконнелл. – М. : Русская редакция, 2007. – 896 с.
7. Митчелл, Дж. Основы теории компиляции / Дж. Митчелл. – М. : Мир, 1981. – 384 с.
8. Окулов, С.М. Алгоритмы и структуры данных / С.М. Окулов. – М. : Лань, 2017. – 576 с.
9. Седжвик, Р. Алгоритмы на Java. Структуры данных / Р. Седжвик. – М. : Вильямс, 2011. – 880 с.
10. Таненбаум, Э. Архитектура компьютера / Э. Таненбаум, Т. Остин. – СПб. : Питер, 2013. – 816 с.
11. Ульман, Дж.Д. Синтаксический анализ / Дж.Д. Ульман. – М. : Мир, 1977. – 304 с.
12. Фридман, Д.П. Структуры данных и алгоритмы / Д.П. Фридман, Д.С. Уайз. – М. : Мир, 1984. – 400 с.

References

1. Akho, A.V. Kompilyatory: printsipy, instrumenty i metody / A.V. Akho, R. Seti, Dzh.D. Ulman. – M. : Vilyams, 2007. – 1184 s.
2. Bennington, Dzh. Vvedenie v teoriyu kompilyatsii / Dzh. Bennington. – M. : Mir, 1981. – 384 s.
3. Grigorev, A.A. Analiz i optimizatsiya iskhodnogo koda programm / A.A. Grigorev. – M. : Nauka, 1987. – 240 s.
4. Knut, D.E. Iskustvo programmirovaniya. Tom 1. Osnovnye algoritmy / D.E. Knut. – M. : Vilyams, 2014. – 960 s.
5. Lamport, L. LaTeX: rukovodstvo polzovatelya / L. Lamport. – M. : Mir, 2001. – 456 s.
6. Makkonnell, S. Sovershennoe programmirovanie / S. Makkonnell. – M. : Russkaya redaktsiya,

2007. – 896 s.

7. Mitchell, Dzh. Osnovy teorii kompilyatsii / Dzh. Mitchell. – M. : Mir, 1981. – 384 s.
 8. Okulov, S.M. Algoritmy i struktury dannykh / S.M. Okulov. – M. : Lan, 2017. – 576 s.
 9. Sedzhvik, R. Algoritmy na Java. Struktury dannykh / R. Sedzhvik. – M. : Vilyams, 2011. – 880 s.
 10. Tanenbaum, E. Arkhitektura kompyutera / E. Tanenbaum, T. Ostin. – SPb. : Piter, 2013. – 816 s.
 11. Ulman, Dzh.D. Sintaksicheskij analiz / Dzh.D. Ulman. – M. : Mir, 1977. – 304 s.
 12. Fridman, D.P. Struktury dannykh i algoritmy / D.P. Fridman, D.S. Uajz. – M. : Mir, 1984. – 400 s.
-

© В.С. Исаев, П.Д. Дробинцев, 2026

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕКТОРА НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛОКОМОЦИЕЙ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

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*); локомоция; вектор наблюдений; оптимальное оценивание; систематическое смещение; доменная рандомизация; *Sim2Real*.

Аннотация: В статье рассматривается задача проектирования вектора наблюдений для политик управления локомоцией шагающих роботов, обучаемых методами обучения с подкреплением (*Reinforcement Learning, RL*). Динамическая составляющая разрыва между симуляцией и реальностью (*Sim2Real*) – рандомизация масс, трения, параметров приводов – исследована в литературе достаточно широко, тогда как состав и статистические свойства канала наблюдений на практике задаются эвристически. При этом вектор наблюдений является единственным источником информации о состоянии для обученного регулятора, и его некорректное проектирование порождает латентные дефекты переноса, не выявляемые при валидации в симуляторе. Цель работы – систематизация принципов проектирования вектора наблюдений в терминах теории автоматического управления и теории оптимального оценивания. Задачи исследования включали формализацию наблюдения как искаженного отображения состояния частично наблюдаемого марковского процесса, представление обученной политики как совмещенного наблюдателя-регулятора, формулировку критериев отбора признаков, анализ канонических групп наблюдений (проприоцепция, экстероцепция, команды), а также анализ статистической модели искажений сенсорного канала с разделением случайной погрешности и систематического смещения. Методы: теоретический анализ модели наблюдения с опорой на аппарат оптимального оценивания, подкрепленный численной иллюстрацией предельных свойств временного усреднения. Результаты: сформулированы три критерия отбора признаков (физическая измеримость, инвариантность к разрыву симуляции и реальности, информационная достаточность); обосновано применение проекции вектора гравитации как представления ориентации без сингулярностей; показано, что случайная погрешность подавляется временным усреднением с дисперсией ошибки, убывающей пропорционально длине окна истории, тогда как систематическое смещение усреднением не устраняется и требует явной рандомизации на эпизод, переводящей задачу оценивания состояния в задачу совместного оценивания состояния и параметра. Сформулирован комплекс практических рекомендаций по нормализации и использованию истории наблюдений.

Введение

Проблема переноса политик обучения с подкреплением из симуляции на физические робототехнические платформы (направление *Sim2Real*) остается одним из ключевых барьеров внедрения автономной локомоции [1]. Сложившаяся практика концентрирует усилия

на расширении распределения динамики среды – доменной рандомизации масс, моментов инерции, коэффициентов трения и параметров приводов [2]. Сенсорная составляющая разрыва при этом либо остается второстепенной, либо моделируется упрощенно, а состав вектора наблюдений задается эвристически, путем прямого заимствования из эталонных конфигураций

программных комплексов.

Между тем вектор наблюдений выступает единственным каналом информации о состоянии для обученного регулятора. В процессе обучения политика π_θ аппроксимирует зависимость управляющего воздействия от входного вектора, используя произвольные статистические корреляции в обучающих данных, включая артефакты симулятора: детерминированный характер генерации возмущений, идеализированную геометрию сцены, доступность величин, неизмеримых на физических датчиках. При развертывании на реальной платформе указанные корреляции отсутствуют, что нарушает работу неявно сформированного механизма оценивания состояния и деградирует качество управления.

Из этого следует, что проектирование вектора наблюдений представляет собой не задачу максимизации объема входной информации, а самостоятельную задачу синтеза, требующую систематизированного подхода. Цель настоящей работы – сформулировать такую методику в терминах теории автоматического управления и теории оптимального оценивания: определить критерии отбора признаков, проанализировать канонические группы наблюдений и статистическую модель искажений сенсорного канала, а также сформулировать практические рекомендации по параметризации.

Формализация задачи

Задача управления локомоцией в условиях неполной информации о состоянии описывается как частично наблюдаемый марковский процесс принятия решений (*Partially Observable Markov Decision Process*, **POMDP**) [3]. Регулятор не имеет доступа к полному состоянию s_t и оперирует наблюдением:

$$o_t = g(s_t) + b + \varepsilon_t,$$

где $g(s_t)$ – идеальное отображение состояния в пространство измеримых признаков, $\varepsilon_t \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ – центрированная случайная погрешность датчика на шаге t , а b – систематическое смещение, постоянное на протяжении эпизода и отражающее фиксированную для конкретного аппаратного экземпляра погрешность (дрейф нуля, калибровочная ошибка).

С позиции теории автоматического управления обученная политика $\pi_\theta(a_t|o_t)$ реализует

две функции. Первая соответствует наблюдателю состояния и заключается в восстановлении оценки $\hat{s}_t$ по последовательности искаженных наблюдений. Вторая соответствует собственному регулятору и заключается в формировании управляющего воздействия a_t на основе полученной оценки. В классическом синтезе эти контуры проектируются отдельно (например, фильтр Калмана и линейно-квадратичный регулятор в силу принципа разделения); при обучении с подкреплением оба контура формируются совместно и неявно, что делает свойства канала наблюдений определяющим фактором робастности итоговой системы.

Критерии отбора признаков

Предлагаемая методика основывается на трех критериях, которым должен удовлетворять каждый компонент вектора наблюдений актера.

К1. Физическая измеримость. Признак должен быть измерим на целевом аппаратном комплексе штатными датчиками либо восстановим бортовым оценщиком с известными характеристиками точности. Величины, доступные только в симуляторе, из наблюдения актера исключаются; при необходимости они передаются функции ценности в рамках схемы асимметричного актер-критика, поскольку критик используется только на этапе обучения и на физическую платформу не переносится.

К2. Инвариантность к разрыву симуляции и реальности. Из эквивалентных по информативности представлений выбирается то, чье распределение в симуляции ближе к распределению на реальной платформе. Критерий охватывает как выбор модальности (карта высот против изображения камеры), так и выбор параметризации (проекция гравитации против кватерниона).

К3. Информационная достаточность без избыточности. Совокупность признаков должна обеспечивать восстановимость компонент состояния, существенных для задачи управления, при минимальной размерности. Избыточные и дублирующие признаки увеличивают риск переобучения под артефакты симуляции и усложняют перенос.

Канонические группы наблюдений

Применение сформулированных критериев рассмотрим на трех канонических группах, из

которых компонуется вектор наблюдений для задачи локомоции.

Проприоцепция описывает внутреннее состояние робота: положения и скорости приводов $q, \dot{q}$, угловую скорость корпуса ω , предыдущее управляющее воздействие a_{t-1} , ориентацию корпуса. Большинство перечисленных величин снимается с физических датчиков напрямую (энкодеры, IMU), что удовлетворяет критерию K1. Два компонента требуют отдельного анализа.

Представление ориентации. Кватернион задает три вращательные степени свободы четырьмя компонентами при дополнительном ограничении единичной нормы, то есть избыточен и определен с точностью до знака; углы Эйлера подвержены сингулярностям. По критериям K2–K3 предпочтительна проекция вектора гравитации в связанную с корпусом систему координат:

$$g_b = R_b^T g_w, \quad g_w = [0, 0, -1]^T,$$

где R_b – матрица поворота корпуса относительно инерциальной системы координат.

Представление g_b непрерывно, не имеет сингулярностей, минимально по размерности и однозначно кодирует направление силы тяжести в связанных осях, что достаточно для стабилизации ориентации при локомоции; курсовой угол, не влияющий на устойчивость, в данном представлении исключен, что согласуется с критерием K3.

Линейная скорость корпуса. В симуляторе величина доступна точно, однако на физической платформе прямому измерению не подлежит, а ее восстановление интегрированием показаний акселерометра сопровождается накапливающейся ошибкой. По критерию K1 линейная скорость исключается из наблюдения актера и передается только критику.

Экстероцепция объединяет данные о внешней среде: карты высот, лидарные сканы, изображения. Выбор модальности определяет как архитектуру аппроксиматора, так и ширину разрыва между симуляцией и реальностью: с ростом информационной насыщенности сигнала увеличивается и число фотометрических и геометрических факторов, подлежащих рандомизации.

Для локомоции по сложному рельефу критерию K2 в наибольшей степени удовлетворяет

локальная карта высот – низкоразмерное представление, инвариантное к условиям освещения и текстурам поверхностей; вопросы моделирования искажений дальномерных сенсоров рассмотрены в работе [4].

Команды задают целевые значения, поступающие от оператора или планировщика верхнего уровня. Формат команды определяет класс формируемого навыка: параметризация конкретной траектории приводит к специализированной политике, тогда как задание вектора целевой скорости $v^{cmd} = [v_x, v_y, \omega_z]$ формирует универсальный навык отслеживания скорости. Второй вариант обеспечивает разделение уровней иерархии управления – политика реализует движение, планировщик формирует целеполагание – и соответствует типовой архитектуре навигационных стеков.

Статистическая модель искажений

Выбор интенсивности случайной погрешности σ при обучении представляет собой компромисс смещения и дисперсии. При $\sigma \rightarrow 0$ политика переобучается под идеальные данные симулятора: возмущения, отсутствовавшие в обучающей выборке, вызывают некорректный отклик, проявляющийся на физической платформе высокочастотными осцилляциями управляющего сигнала. При завышенном σ информативная составляющая наблюдения подавляется помехой, и неявный наблюдатель утрачивает способность к различению тонких признаков состояния; политика приобретает избыточную робастность ценой снижения быстродействия и точности отслеживания. Рациональному выбору соответствует уровень погрешности, согласованный с паспортными характеристиками целевого датчика.

Принципиальным является то обстоятельство, что случайная погрешность ε_t и систематическое смещение b , входящие в модель наблюдения аддитивно, представляют для процесса обучения качественно различные проблемы.

Случайная погрешность подавляется неявным наблюдателем средствами временного усреднения. В силу $\mathbb{E}[\varepsilon_t] = 0$ (условие означает, что ошибка имеет нулевое среднее, то есть является несмещенной) для оценки скользящим средним по окну длины N :

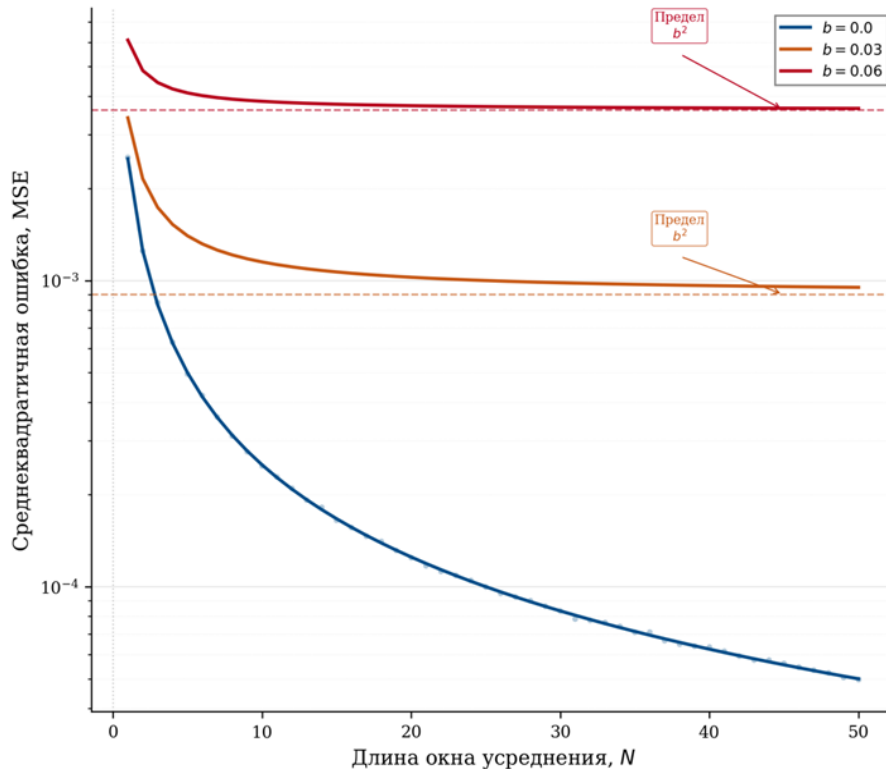


Рис. 1. Предельное поведение компонент ошибки

$$\hat{s}_t = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} o_{t-k},$$

дисперсия ошибки составляет σ^2/N и убывает с ростом длины окна. Конкатенация истории наблюдений в составе входного вектора предоставляет аппроксиматору данные, необходимые для реализации подобного оценивателя, приближающегося по свойствам к оптимальному фильтру.

Систематическое смещение временным усреднением не устраняется: поскольку b постоянно на протяжении эпизода, любая усредняющая оценка сохраняет смещение, и среднеквадратическая ошибка оценивания ограничена снизу:

$$\mathbb{E} \left[\left(\hat{s}_t - g(\hat{s}_t) \right)^2 \right] = b^2 + \frac{\sigma^2}{N} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} b^2.$$

Предельное поведение обеих компонент ошибки иллюстрирует рис. 1: дисперсионная составляющая монотонно убывает с длиной окна, тогда как составляющая смещения формирует неустранимый порог. Если на этапе об-

учения смещение фиксировано и равно нулю, что характерно для идеального симулятора, невидный наблюдатель формируется в предположении несмещенности канала. На физической платформе с ненулевым смещением постоянная составляющая проекции гравитации интерпретируется наблюдателем как наклон корпуса, и регулятор формирует компенсирующее воздействие относительно несуществующего наклона; результатом является систематическая ошибка регулирования, наблюдаемая как устойчивый боковой дрейф или асимметрия походки.

Устранение влияния смещения достигается его явной рандомизацией между эпизодами:

$$b \sim N(0, \sigma^2),$$

$b = \text{const}$ в пределах эпизода.

При такой постановке смещение приобретает статус ненаблюдаемого параметра среды, и задача оценивания состояния трансформируется в задачу совместного оценивания состояния и параметра, эквивалентную системной идентификации: наблюдатель восстанавливает величину смещения по косвенным признакам динамики (отклонение траектории при нулевой

команде боковой скорости) и учитывает ее при формировании управляющего воздействия. В этом смысле рандомизация смещения канала наблюдений методологически однородна с рандомизацией динамических параметров среды и является необходимым дополнением к рандомизации случайной погрешности: моделирование исключительно централизованного гауссовского возмущения оставляет неустранимый порог ошибки b^2 вне распределения обучающих данных.

Практические аспекты формирования входного вектора

Нормализация. Компоненты вектора наблюдений имеют существенно различающиеся физические масштабы (радианы, радианы в секунду, метры). Без приведения к сопоставимому масштабу градиенты по входным признакам оказываются несбалансированными, что замедляет сходимость и смещает неявный отбор признаков в пользу компонент с большей амплитудой. Применяется стандартизация по статистикам, накопленным в процессе обучения, либо масштабирование по известным физическим диапазонам датчиков.

История наблюдений и временные задержки. Конкатенация наблюдений и действий за последние H шагов:

$$o_t^{aug} = \text{concat}(o_t, \dots, o_{t-H}, a_{t-1}, \dots, a_{t-H}).$$

Данный прием выполняет три функции: обеспечивает данные для временного усреднения случайной погрешности, позволяет неявно оценивать производные состояния и компенсирует фазовый сдвиг, вносимый задержками контура управления. Количественный анализ последнего эффекта и обоснование выбора глубины истории выполнены в работе [5].

Заключение

В работе систематизированы принципы проектирования вектора наблюдений для политик RL -локомоции шагающих роботов. Наблюдение формализовано как искаженное отображение состояния частично наблюдаемого марковского процесса, а обученная политика представлена как совмещенный наблюдатель-регулятор, что позволило применить к задаче аппарат теории оптимального оценивания.

Основные результаты.

1. Сформулированы три критерия отбора признаков вектора наблюдений: физическая измеримость на целевом аппаратном комплексе, инвариантность к разрыву между симуляцией и реальностью, информационная достаточность без избыточности. На основе критериев обоснованы применение проекции вектора гравитации как представления ориентации без сингулярностей и исключение линейной скорости корпуса из наблюдения актера.

2. Показано качественное различие компонент ошибки сенсорного канала: случайная погрешность подавляется временным усреднением с дисперсией ошибки σ^2/N , тогда как систематическое смещение формирует неустранимый усреднением порог ошибки b^2 и требует явной рандомизации на эпизод, переводящей задачу оценивания состояния в задачу совместного оценивания состояния и параметра.

3. Сформулирован комплекс практических рекомендаций по нормализации входного вектора и использованию истории наблюдений, применимый при построении *Sim2Real*-конвейеров обучения локомоции.

Направлением дальнейших исследований является количественная экспериментальная оценка влияния рандомизации систематического смещения на робастность переноса политик локомоции.

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. – DOI: 10.1109/access.2023.3249572. – EDN: PQTMIN.
2. Tobin, J. Domain Randomization for Transferring Deep Neural Networks from Simulation to the Real World / J. Tobin, R. Fong // IROS. – 2017. – P. 23–30. – DOI: 10.1109/IROS.2017.8202133.
3. Kaelbling, L.P. Planning and Acting in Partially Observable Stochastic Domains / L.P. Kaelbling // Artificial Intelligence. – 1998. – No. 101. – P. 99–134. – DOI: 10.1016/S0004-3702(98)00023-X. – EDN: JHWPSH.
4. Чистяков, И.А. Улучшение робастности RL-навигации мобильных роботов путем интегра-

ции моделей шумов 2D-лидара в процесс обучения / И.А. Чистяков, Д.Ю. Кривоногов, Д.В. Калитин // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 4(199). – С. 148–153. – EDN: PZRKPC.

5. Кривоногов, Д.Ю. 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 // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 4(199). – С. 105–109. – EDN: HWGXHM.

6. Lee, J. Learning quadrupedal locomotion over challenging terrain / J. Lee, J. Hwangbo, L. Wellhausen, V. Koltun, M. Hutter // Science Robotics. – 2020. – Vol. 5. – No. 47. – DOI: 10.1126/scirobotics.abc5986. – EDN: OLOXDV.

References

4. CHistyakov, I.A. Uluchshenie robastnosti RL-navigatsii mobilnykh robotov putem integratsii modelej шумов 2D-lidara v protsess obucheniya / I.A. CHistyakov, D.YU. Krivonogov, D.V. Kalitin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 4(199). – S. 148–153. – EDN: PZRKPC.

5. Krivonogov, D.YU. Ustranenie effektiv fazovogo sdviga v konture upravleniya mobilnogo robota pri RL-navigatsii metodom obucheniya s modeliruemyimi zaderzhkami i istoriej nablyudenij / D.YU. Krivonogov, I.A. CHistyakov, D.V. Kalitin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 4(199). – S. 105–109. – EDN: HWGXHM.

© Д.Ю. Кривоногов, И.А. Чистяков, Д.В. Калитин, 2026

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ВЫБОР И КОМБИНИРОВАНИЕ UI-ПАТТЕРНОВ ДЛЯ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ И ОНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.В. ФИРСОВ, И.М. ЧИКУНОВ, П.Е. КАРШАКОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: алгоритмический выбор UI-паттернов; деревья решений; онтологическое моделирование; веб-интерфейс промышленного предприятия; автоматизированная генерация веб-сайтов; совместимость паттернов; корпоративный сайт.

Аннотация: В статье рассматривается проблема автоматизации проектирования веб-интерфейсов промышленных предприятий. Целью исследования является разработка алгоритмического метода выбора и комбинирования UI-паттернов для веб-интерфейсов промышленных предприятий. Для достижения этой цели решаются следующие задачи: формализация предметной области в виде онтологической модели, построение дерева решений для выбора паттернов и создание алгоритма их совместимого комбинирования. Гипотеза исследования заключается в том, что использование деревьев решений и онтологического моделирования позволяет автоматизировать выбор UI-паттернов без привлечения эксперта по интерфейсам для типовых промышленных сайтов. В работе применялись методы онтологического моделирования, деревьев решений, анализа совместимости паттернов и прототипирования. Предлагается оригинальный алгоритм выбора и комбинирования UI-паттернов, базирующийся на деревьях решений и онтологической модели предметной области. Описывается архитектура инструмента автоматизированной генерации веб-сайтов, включающая систему шаблонов, модульную организацию компонентов и механизмы параметрического формирования страниц. Приводятся результаты экспериментальной проверки, подтверждающие корректность алгоритмического выбора интерфейсных конфигураций, стабильность работы прототипа и сокращение трудозатрат на разработку. В результате получен оригинальный алгоритм выбора и комбинирования UI-паттернов, разработана архитектура инструмента автоматизированной генерации веб-сайтов, а экспериментальная проверка подтвердила корректность алгоритма, стабильность прототипа и сокращение трудозатрат на разработку.

Цифровизация промышленного сектора Российской Федерации предъявляет повышенные требования к качеству, структурированности и функциональной полноте веб-сайтов предприятий. В соответствии с Федеральным законом от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», официальный веб-ресурс предприятия рассматривается как значимый элемент информационной инфраструктуры. Однако, как показывает анализ проектных практик, созда-

ние промышленного веб-сайта сопряжено с необходимостью учета сложной иерархии подразделений, номенклатуры продукции, нормативно-технической документации и различных категорий пользователей, включая заказчиков, партнеров, контролирующие органы и собственный персонал.

Универсальные конструкторы сайтов, ориентированные на массового пользователя, не позволяют формализовать и автоматически воспроизводить типовые, но отраслеспецифичные

интерфейсные решения. Разработка «с нуля» каждым предприятием приводит к высоким временным и финансовым затратам, а также к неоднородности пользовательского опыта. В этих условиях актуальной становится задача создания алгоритмического подхода к выбору и комбинированию *UI*-паттернов – проверенных практикой структурных и функциональных элементов интерфейса – с учетом отраслевых особенностей [1].

Настоящее исследование направлено на разработку и экспериментальное подтверждение модели, в которой процесс проектирования веб-интерфейса промышленного предприятия рассматривается как задача многокритериального выбора, решаемая с помощью деревьев решений и онтологического моделирования.

В отличие от потребительских или имиджевых сайтов, веб-ресурс промышленного предприятия характеризуется рядом обязательных признаков. К ним относятся наличие многоуровневого каталога продукции с техническими параметрами, необходимость публикации нормативной и эксплуатационной документации (паспортов, сертификатов, руководств), поддержка запросов коммерческого характера, а также часто – двух- или трехуровневая навигация по видам деятельности и юридической структуре. Традиционные библиотеки интерфейсных паттернов, такие как перечни основных навигационных элементов, форм ввода или карточек товаров, не содержат критериев отбора для подобных условий [2].

Под *UI*-паттерном в данном исследовании понимается повторяемое решение интерфейсной задачи, имеющее фиксированную структуру, набор атрибутов и сценарий взаимодействия с пользователем. Для промышленного сектора значимыми группами паттернов являются: паттерны навигации (многоуровневое меню, «хлебные крошки» с привязкой к классификатору продукции); паттерны представления данных (техническая таблица с фильтрацией, сравнительная таблица характеристик, вкладки для разных модификаций); паттерны взаимодействия с документацией (встроенный просмотр *PDF*, карточка сертификата, привязка к номеру ТУ); паттерны коммуникации (форма технического запроса, кнопка быстрой связи с инженером). Ключевой проблемой является то, что далеко не все комбинации этих паттернов допустимы или эргономичны. Например, попытка совместить сложную таблицу технических па-

раметров с минималистичным односторонним паттерном портфолио приведет к потере информативности.

Отсюда вытекает необходимость формализованного описания паттернов через многомерные признаки: функциональное назначение, допустимый размер, возможность адаптации на мобильных устройствах, обязательность сопровождения текстовыми подсказками, совместимость с другими паттернами. Такое описание служит входными данными для алгоритма выбора.

Для автоматизации выбора интерфейсных решений разработана онтологическая модель, отражающая три основных слоя промышленного веб-сайта: структурный, пользовательский и интерфейсный. Структурный слой описывает типовую организацию предприятия (виды деятельности, производственные подразделения, номенклатурные группы, вспомогательные службы). Пользовательский слой определяет категории посетителей сайта с их типовыми задачами: менеджер по закупкам (нуждается в сравнении характеристик и получении спецификации), инженер-эксплуатант (требует доступа к схеме и инструкции), представитель надзорного органа (ищет лицензии и декларации), соискатель или партнер (ориентирован на общую информацию). Интерфейсный слой содержит собственно множество паттернов, структурированных по уровням – глобальные (шапка, подвал, основная навигация), локальные (способы подачи контента в разделах), микроинтеракции (обратная связь, подсказки) [3].

В отличие от существующих классификаций, предложенная модель вводит понятие контекстной совместимости паттернов, выраженной через бинарные и вероятностные правила. Например, паттерн «многоуровневое горизонтальное меню» считается совместимым с паттерном «боковая навигация по номенклатуре» только при условии, что глобальное меню не содержит более семи пунктов, иначе возникает когнитивная перегрузка. Паттерн «сравнение товаров в таблице» требует обязательного присутствия паттерна «пагинация» при количестве позиций более двадцати. Паттерн «фильтр по техническим характеристикам» не совместим с паттерном «карусель преимуществ» на одной экранной плоскости без визуального разделителя. Онтология реализована с использованием формализма фреймов, где каждый паттерн описывается слотом «совместимые», слотом «не-

совместимые», слотом «приоритет» и слотом «обязательные условия». Заполнение слотов производится экспертным путем на основе руководств по проектированию промышленных интерфейсов и апробации на контрольных примерах. Это обеспечивает формальную базу для последующего этапа – логического вывода на деревьях решений.

Основной операционной частью модели является алгоритм, который на входе получает тип промышленного предприятия (машиностроение, приборостроение, химическая промышленность, производство строительных материалов и т.д.), перечень видов выпускаемой продукции, ожидаемые категории пользователей и заданные функциональные требования (наличие каталога с чертежами, необходимость технической поддержки в онлайн-режиме, интеграция с системой электронного документооборота). На выходе алгоритм формирует перечень согласованных паттернов с указанием их размещения на страницах [4; 5].

Алгоритм состоит из трех последовательных этапов. Первый этап – классификация по решающему дереву верхнего уровня, которое определяет базовую архитектуру навигации. В узлах этого дерева проверяются признаки: «количество самостоятельных направлений продукции», «наличие дочерних обществ или филиалов», «обязательность выделения специального раздела для документации». По результатам прохода выбираются глобальные навигационные паттерны: двуслойное меню с выпадающими подразделами, вертикальное меню категорий с адаптацией под планшет, либо комбинированное меню с поиском по номенклатуре.

Второй этап – подбор паттернов представления данных для типовых страниц (каталог, карточка изделия, техническая библиотека, контакты). Для этого используется множество локальных деревьев решений, каждое из которых привязано к определенному типу контента. Например, для страницы каталога последовательно проверяются: «есть ли необходимость показа более десяти технических параметров у позиции?», «требуется ли группировка в подкаталоги более двух уровней?», «будет ли пользователь сравнивать изделия между собой?». Ответы на эти вопросы ведут к выбору между паттерном «таблица с возможностью сортировки по столбцам», паттерном «карточки с быстрым просмотром характеристик» или паттер-

ном «иерархический список со значками» [6; 7].

Третий этап – проверка глобальной совместимости отобранных паттернов на основе правил онтологической модели. В случае обнаружения конфликтов (например, выбран и полноэкранный слайдер изображений, и многострочная техническая таблица на одной странице) алгоритм выполняет корректировку, понижая приоритет менее значимого паттерна согласно заданным весам. Веса определяются исходя из принадлежности паттерна к обязательным (наличие контактных данных), целесообразным (улучшающим навигацию), либо дополнительным (сервисным). При невозможности устранить конфликт автоматически протоколируется рекомендация для проектировщика.

Разработанная архитектура инструмента включает в себя четыре взаимодействующих модуля. *Модуль формализации требований* принимает на вход анкетные данные о предприятии, продуктах и пользовательских сценариях, а также ссылки на существующие отраслевые стандарты веб-доступности и примеры лучших практик. *Модуль алгоритмического выбора* содержит реализацию описанных выше деревьев решений и онтологический вывод, выполненный на языке, допускающем интеграцию с системами управления контентом [8].

Модуль генерации шаблонов преобразует выбранный набор паттернов в конкретную разметку веб-страниц. В основе модуля лежит библиотека параметрических шаблонов, каждый из которых соответствует одному паттерну или их устойчивой комбинации. Шаблоны выполнены в виде фрагментов гипертекстовой разметки с управляющими переменными для вставки текстовой информации, изображений, таблиц и ссылок на документы. *Модуль объединения компонентов* выполняет сборку целостного сайта, обеспечивая адаптивную верстку за счет использования правил медиазапросов, которые также выбираются алгоритмически в зависимости от прогнозируемого устройства доступа (стационарный компьютер, планшет, мобильный телефон). Дополнительно модуль проверяет соответствие сгенерированных страниц требованиям нормативных актов о доступности интернет-ресурсов для инвалидов по зрению (приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 30.11.2020 № 645), если это предусмотрено заданием. Архитектурное решение

обеспечивает воспроизводимость интерфейсных решений: для одинаковых исходных данных алгоритм выдает одинаковую конфигурацию паттернов и, как следствие, совместимую генерацию страниц. Это отличает предлагаемый инструмент от систем, основанных на случайных или эвристических правилах [9].

Для подтверждения работоспособности предложенной модели был создан прототип инструмента, включающий онтологию для шести типов промышленных предприятий (станкостроение, электротехническое производство, предприятие по выпуску химических реагентов, завод железобетонных конструкций, приборостроительный завод, предприятие по ремонту горно-шахтного оборудования). Всего в онтологию загружено 47 *UI*-паттернов, из них 22 навигационных, 15 паттернов представления данных и 10 паттернов взаимодействия. Сформулировано 128 правил совместимости.

В ходе эксперимента для каждого типа предприятия были сгенерированы по три варианта интерфейса: с ориентацией на внешних заказчиков, на инженерно-технический персонал и на управляющую компанию (с акцентом на отчетные показатели). Прототип автоматически формировал набор страниц, включая главную, каталог, карточку продукции, раздел документации, контакты. Оценка корректности выбора проводилась экспертной комиссией из пяти специалистов в области промышленного веб-дизайна и автоматизации, не участвовавших в разработке прототипа. Результаты эксперимента показали, что доля полностью совместимых конфигураций (не содержащих конфликтов, требующих ручного исправления) составила 94,4 процента от общего числа сгенерированных наборов. В 5,6 процентах случаев алгоритм фиксировал неоднозначность, связанную с равными весами приоритетов, и выдавал рекомендации, требовавшие принятия решения человеком. Время автоматизированного выбора паттернов для одного предприятия не превышало 15 секунд, в то время как аналогичный этап ручного проектирования занимал в среднем 8 рабочих часов. Сокращение трудозатрат на этапе концептуальной проработки интерфейса составило более 90 процентов [10; 11].

Также оценивалась стабильность работы прототипа при варьировании входных пара-

метров: изменение структуры каталога с двух до четырех уровней вложенности, добавление требования публикации чертежей в векторных форматах, изменение пользовательского профиля с «менеджер по закупкам» на «сервисный инженер». Во всех случаях алгоритм перестраивал набор паттернов без сбоев, корректно заменяя таблицы технических параметров на вкладки с монтажными схемами при смене профиля, что подтверждает адекватность разработанной онтологии. Экспертная оценка качества сгенерированных интерфейсов по шкале от 1 до 5 баллов (среднее значение по пяти экспертам) составила 4,3 балла для навигационной ясности, 4,2 балла для удобства работы с таблицами и документацией, 4,0 балла для визуальной согласованности. Наиболее низкие оценки (3,7 балла) были получены для адаптации сложных технических таблиц на мобильных устройствах, что указывает на направление дальнейшего совершенствования [12].

Таким образом, разработанный алгоритм выбора и комбинирования *UI*-паттернов на основе деревьев решений и онтологического моделирования решает задачу автоматизации проектирования веб-интерфейсов промышленных предприятий с учетом их отраслевой специфики. Предложенная онтологическая модель позволяет формализовать совместимость интерфейсных элементов, а деревья решений обеспечивают детерминированный и воспроизводимый выбор. Архитектура инструмента автоматизированной генерации, включающая систему параметрических шаблонов и модульную организацию компонентов, демонстрирует снижение трудоемкости разработки более чем на 90 процентов по сравнению с ручным проектированием. Результаты экспериментальной проверки подтверждают корректность алгоритмического выбора паттернов, стабильность работы прототипа и приемлемое качество генерируемых интерфейсов для широкого круга промышленных задач. Дальнейшие исследования предполагают расширение онтологии на смежные отрасли (транспорт, энергетику, сельскохозяйственное машиностроение), а также интеграцию с интеллектуальными модулями мониторинга поведения пользователей для динамической настройки выбранных паттернов на основе реальной статистики взаимодействия.

Литература

1. Ломов, П.А. Автоматизация синтеза составных онтологических паттернов содержания / П.А. Ломов // *Онтология проектирования*. – 2016. – Т. 6. – № 2(20). – С. 162–172. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-162-172. – EDN: WKEAWB.
2. Ломов, П.А. Использование отношений между онтологическими паттернами содержания при работе с онтологиями / П.А. Ломов // *Информационные системы и технологии*. – 2016. – № 2(94). – С. 30–39. – EDN: VPFEVN.
3. Агеева, А.Д. Дизайн интерфейсов (UI) и пользовательский опыт (UX) / А.Д. Агеева, Л.Э. Петросян // *Вестник науки*. – 2024. – № 6(75) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/dizayn-interfejsov-ui-i-polzovatel'skiy-opyt-ux>. – EDN: OGZMTT.
4. Голеняева, А.С. UI/UX-дизайн как двигатель цифрового рынка / А.С. Голеняева // *Молодой ученый*. – 2023. – № 18(465). – С. 10–11. – EDN: MOKAXZ.
5. Humayoun, S.R. Automate the Decision on Best-Suited UI Design for Nobile Apps / S.R. Humayoun, R. AlTarawneh, Y. Dubinsky // *Proceedings of the 1st International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft 2014)*. – New York : ACM, 2014. – P. 78–87. – DOI: 10.1145/2593902.2593919.
6. Degbelo, A. 3D4DT: An Approach to Explore Decision Trees for Thematic Map Creation as an Interactive 3D Scene / A. Degbelo // *FOSS4G 2023 Academic Track*. – Pécs, 2023.
7. Моругин, П. К проблеме проектирования пользовательских интерфейсов интранетов для ИТ-подразделений предприятий промышленности / П. Моругин, О. Афанасьева // *Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция*. – 2017. – № 1. – С. 161–165. – EDN: YIEVMZ.
8. Федоряченко, С.А. Использование паттернов проектирования в веб-дизайне / С.А. Федоряченко, Н.В. Иванова, А.С. Москаленко // *Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2018 : сб. науч. тр. междунар. конф.* – Днепр : НГУ, 2018. – EDN: YWZXAD.
9. Халтурина, Е.С. Применение экспертно-пользовательского анализа интерфейса для модернизации сайта компании : выпускная квалификационная работа бакалавра / Е.С. Халтурина; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – СПб., 2024. – 85 с.
10. Каюков, А.И. Проектирование адаптивных пользовательских интерфейсов / А.И. Каюков, И.А. Галушка, Т.А. Коваленко // *Парадигма*. – 2025. – №5-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-adaptivnyh-polzovatel'skih-interfejsov>. – EDN: MZKHYA.
11. Серебряная, Л.В. Объектно-ориентированные технологии программирования и стандарты проектирования : учебно-метод. пособие / Л.В. Серебряная. – Минск : БГУИР, 2018. – 64 с.
12. Олейник, А.Г. Разработка онтологии интегрированного пространства знаний / А.Г. Олейник, П.А. Ломов // *Онтология проектирования*. – 2016. – Т. 6. – № 4(22). – С. 465–474. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-465-474. – EDN: XCRJFN.

References

1. Lomov, P.A. Avtomatizatsiya sinteza sostavnykh ontologicheskikh patternov sodержaniya / P.A. Lomov // *Ontologiya proektirovaniya*. – 2016. – Т. 6. – № 2(20). – S. 162–172. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-162-172. – EDN: WKEAWB.
2. Lomov, P.A. Ispolzovanie otnoshenij mezhdru ontologicheskimi patternami sodержaniya pri rabote s ontologiyami / P.A. Lomov // *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*. – 2016. – № 2(94). – S. 30–39. – EDN: VPFEVN.
3. Ageeva, A.D. Dizajn interfejsov (UI) i polzovatel'skij opyt (UX) / A.D. Ageeva, L.E. Petrosyan // *Vestnik nauki*. – 2024. – № 6(75) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/dizayn-interfejsov-ui-i-polzovatel'skiy-opyt-ux>. – EDN: OGZMTT.
4. Golenyaeva, A.S. UI/UX-dizajn kak dvigatel tsifrovogo rynka / A.S. Golenyaeva // *Molodoj uchenij*. – 2023. – № 18(465). – S. 10–11. – EDN: MOKAXZ.
7. Morugin, P. K probleme proektirovaniya polzovatel'skikh interfejsov intranetov dlya IT-

podrazdelenij predpriyatij promyshlennosti / P. Morugin, O. Afanaseva // Risk: resursy, informatsiya, snabzhenie, konkurenciya. – 2017. – № 1. – S. 161–165. – EDN: YIEVMZ.

8. Fedoryachenko, S.A. Ispolzovanie patternov proektirovaniya v veb-dizajne / S.A. Fedoryachenko, N.V. Ivanova, A.S. Moskalenko // Sovremennye innovatsionnye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoj promyshlennosti i transporta 2018 : sb. nauch. tr. mezhdunar. konf. – Dnepr : NGU, 2018. – EDN: YWZXAD.

9. KHalturina, E.S. Primenenie ekspertno-polzovatelskogo analiza interfejsa dlya modernizatsii sajta kompanii : vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota bakalavra / E.S. KHalturina; Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij universitet Petra Velikogo. – SPb., 2024. – 85 s.

10. Kayukov, A.I. Proektirovanie adaptivnykh polzovatelskikh interfejsov / A.I. Kayukov, I.A. Galushka, T.A. Kovalenko // Paradigma. – 2025. – №5-2 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-adaptivnyh-polzovatelskih-interfeysov>. – EDN: MZKHYA.

11. Serebryanaya, L.V. Obektno-orientirovannye tekhnologii programmirovaniya i standarty proektirovaniya : uchebno-metod. posobie / L.V. Serebryanaya. – Minsk : BGUIR, 2018. – 64 s.

12. Olejnik, A.G. Razrabotka ontologii integrirovannogo prostranstva znaniy / A.G. Olejnik, P.A. Lomov // Ontologiya proektirovaniya. – 2016. – T. 6. – № 4(22). – S. 465–474. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-465-474. – EDN: XCRJFN.

© А.В. Фирсов, И.М. Чикунов, П.Е. Каршаков, 2026

ПОВЫШЕНИЕ РОБАСТНОСТИ RL-ПОЛИТИК УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ МЕТОДОМ ДОМЕННОЙ РАНДОМИЗАЦИИ

И.А. ЧИСТЯКОВ¹, Д.Ю. КРИВОНОГОВ¹, С.А. ВОРОТНИКОВ²

¹ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»;

² ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: обучение с подкреплением (*Reinforcement Learning*, **RL**); манипуляция; доменная рандомизация; симуляция; *Proximal Policy Optimization*; *Isaac Lab*; *Sim2Real*.

Аннотация: В статье рассматривается задача повышения робастности политик управления роботизированным манипулятором при захвате и подъеме объектов по данным *RGB* камеры. Решение строится на основе обучения с подкреплением, однако политики, обученные в детерминированной симуляции, теряют работоспособность при малейших отклонениях реальных условий от симуляционных. Цель работы – разработка метода комплексной доменной рандомизации, повышающего робастность *RL*-политик манипуляции без модернизации вычислительных блоков. Задачи исследования включали анализ ограничений детерминированного обучения, формализацию пространства рандомизируемых параметров среды и сравнительную оценку эффективности в симуляции. Гипотеза заключалась в том, что совместное варьирование визуальных, физических и кинематических параметров среды при каждом сбросе эпизода повысит долю успешных захватов на новых конфигурациях и снизит дисперсию результата. Эксперименты проводились в среде *NVIDIA Isaac Lab* на платформе *UR5* с гриппером *DH-Robotics AG95*. Результаты: предложенный метод повышает процент успеха с 78 % до 93 % и снижает дисперсию метрики успеха более чем вдвое без роста вычислительной сложности модели.

Введение

Перенос политик управления, обученных в симуляции, на реальные роботизированные платформы остается одной из ключевых задач современной робототехники [1]. Обучение с подкреплением, в частности алгоритм *Proximal Policy Optimization* [2], показывает высокую эффективность в задачах манипуляции, однако политики, обученные в детерминированных средах, демонстрируют резкое падение производительности при малейших отклонениях реальных условий от симуляционных.

Существующие исследования компенсируют *sim-to-real gap* усложнением архитектур нейронных сетей либо методами адаптации доменов, что повышает вычислительные затраты и усложняет развертывание на бортовых системах. Подход доменной рандомизации (*Domain Randomization*, **DR**) [3] позволяет компенсиро-

вать неопределенность реальной среды без роста вычислительной сложности модели: агент обучается в широком диапазоне симуляционных условий, вследствие чего реальная среда воспринимается политикой лишь как еще один частный случай наблюдающегося распределения.

Целью настоящей работы является разработка метода комплексной доменной рандомизации для задач захвата объекта манипулятором по данным с камеры, повышающего робастность *RL*-политик без необходимости модернизации вычислительных блоков. Практическая значимость состоит в получении политики, устойчивой к вариациям цвета и положения объекта, освещения, текстуры рабочей поверхности и начального состояния манипулятора, что является необходимым условием последующего переноса на физическую платформу.



Рис. 1. Структурная схема процесса рандомизации

Формализация задачи

Задача захвата и подъема объекта манипулятором с использованием обучения с подкреплением формально описывается в рамках марковского процесса принятия решений (*Markov Decision Process, MDP*) [4], определяемого кортежем:

$$\langle S, A, T, R, \gamma \rangle,$$

где S – множество состояний среды, A – множество действий, T – функция перехода состояний, R – функция вознаграждения, $\gamma \in [0; 1)$ – коэффициент дисконтирования будущей награды.

Особенностью рассматриваемой задачи является использование мультимодальных наблюдений o_t , формируемых как конкатенация данных камеры, проприоцептивных сигналов манипулятора и бинарного флага захвата:

$$o_t = [rgb_t, q_t, \dot{q}_t, p_t, g_t, a_{t-1}],$$

где rgb_t – цветное изображение, q_t – вектор углов суставов, $\dot{q}_t$ – вектор скоростей суставов,

p_t – позиция рабочего органа, g_t – флаг захвата, a_{t-1} – действие на предыдущем шаге.

Политика управления π_θ отображает наблюдение o_t в управляющее воздействие a_t . Целью обучения является максимизация математического ожидания дисконтированной награды:

$$J(\theta) = \mathbb{E}_{\tau \sim \pi_\theta} \left[\sum_{t=0}^T \gamma^t R(o_t, a_t) \right],$$

где $J(\theta)$ – целевая функция, зависящая от параметров нейронной сети θ , $\mathbb{E}_{\tau \sim \pi_\theta}$ – оператор математического ожидания по траекториям τ , порожденным политикой π_θ , T – длина эпизода.

Метод доменной рандомизации

Базовый подход. В базовой конфигурации среда инициализируется с фиксированными параметрами: объект располагается в центре рабочей зоны, имеет фиксированный цвет и масштаб, текстура стола не меняется, начальная поза манипулятора и гриппера детерминированы.

Предложенный метод. Для повышения

робастности предлагается комплексная доменная рандомизация D , применяемая при каждом сбросе среды (структурная схема процесса рандомизации представлена на рис. 1):

$$D = \{D_{\text{visual}}, D_{\text{physical}}, D_{\text{kinematic}}\}.$$

Для систематического исследования влияния отдельных артефактов и их комбинаций были выделены три базовые модели рандомизации.

1. Визуальная рандомизация (D_{visual}) состоит из трех частей, каждая варьирует признаки, не влияющие на геометрию задачи, но определяющие вид сцены для RGB-канала:

- цвет объекта задается покомпонентно из равномерных распределений: $c_{\text{obj}} \sim U(0,0; 1,0) \times U(0,0; 1,0) \times U(0,0; 1,0)$, где сомножители соответствуют каналам R, G, B ;

- текстура рабочего стола выбирается случайно из набора: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_7\}$ (ламинат, дубовый шпон, фанера и др.);

- интенсивность освещения задается как $I_{\text{light}} \sim U(5000; 15000)$ [кд].

2. Физическая рандомизация (D_{physical}) варьирует пространственное состояние объекта:

- позиция объекта выбирается из трех зон рабочей области (центр, левая, правая) с диапазонами координат $x \in (-0,24; -0,05)$, $y \in (0,51; 0,61)$ [м];

- начальная ориентация объекта задается случайным кватернионом;

- размер объекта: $s_{\text{obj}} \sim U(0,75; 1,25)$.

3. Кинематическая рандомизация ($D_{\text{kinematic}}$) варьирует начальное состояние манипулятора и характеристики гриппера:

- начальные углы суставов задаются как гауссовское смещение относительно стартовой позы: $q_{\text{init}} = q_{\text{default}} + \varepsilon$, $\varepsilon \sim N(0; 0,5^2)$;

- начальное раскрытие гриппера: $g_{\text{init}} \sim U(0,0; 0,645)$ [рад];

- предельная скорость срабатывания гриппера задается как доля от номинального значения: $v_{\text{grip}} \sim U(0,5; 1,0) \cdot v_{\text{max}}$.

Экспериментальная установка

Эксперименты проводились в симуляторе *NVIDIA Isaac Lab* [5] на платформе *UR5* с гриппером *DH-Robotics AG95*. Управление осуществлялось через дифференциальную обратную кинематику методом демпфированных наименьших квадратов в режиме относительных

смещений рабочего органа. Диапазоны суставов ограничивались программно для исключения самопересечений и выхода в физически недостижимые конфигурации.

Параметры обучения: алгоритм *PPO* (реализация *skrl*); число параллельных сред – 64; общее число итераций – 70 000; частота симуляции – 90 Гц; частота действий – 30 Гц; длина эпизода – 4 с; коэффициент дисконтирования $\gamma = 0,99$.

Для оценки использовались следующие метрики:

- *Success Rate* – доля успешных эпизодов, завершившихся устойчивым подъемом объекта;

- *Variance* – дисперсия метрики успеха между независимыми запусками;

- 95 % доверительный интервал по методу Уилсона для доли успешных исходов.

Для анализа вклада компонентов сравнивались четыре конфигурации: *Baseline* (без рандомизации), *Variant A* (только визуальная), *Variant B* (визуальная + физическая), *Proposed* (полная рандомизация D).

Результаты сравнительной оценки

Сходимость обучения. Анализ динамики средней награды в процессе обучения (рис. 2) показывает, что базовая конфигурация (*Baseline*) демонстрирует нестабильное обучение с высокой дисперсией между запусками: агент быстро достигает локального оптимума на единственной конфигурации, но не способен обобщать на новые условия. Предложенный метод (*Proposed*) показывает более медленную начальную сходимость, обусловленную разнообразием предъявляемых условий, но обеспечивает устойчивый рост метрик без деградации на поздних этапах. К 50 000 итераций средняя награда стабилизируется на уровне $0,72 \pm 0,08$, тогда как *Baseline* удерживается на уровне $0,68 \pm 0,21$ при существенно большем разбросе.

Робастность и дисперсия. Тестирование проводилось на 100 эпизодах в новых, не встречавшихся при обучении, конфигурациях среды. Результаты представлены в табл. 1.

Внедрение полной доменной рандомизации позволило увеличить *Success Rate* на 15 процентных пунктов и снизить дисперсию более чем в 2 раза по сравнению с базовым подходом.

Вклад отдельных компонентов. Для анализа вклада отдельных компонентов рандомизации проведено абляционное исследование.

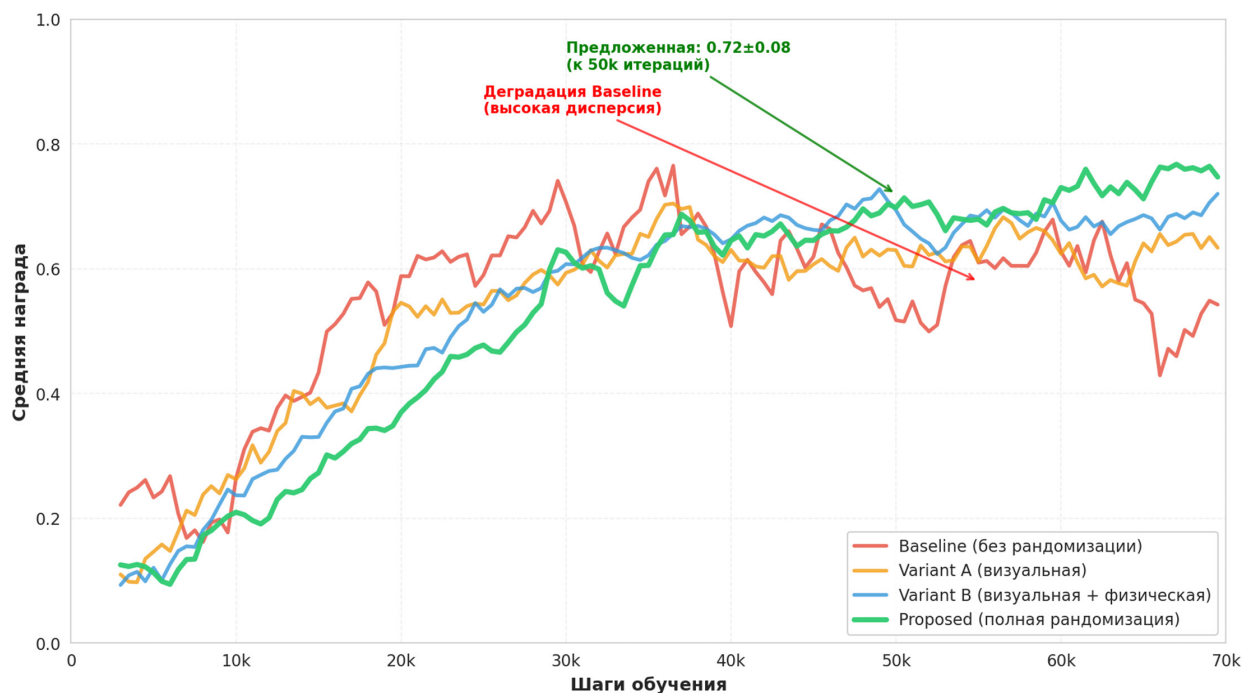


Рис. 2. Динамика средней награды

Таблица 1. Сравнение метрик робастности

Конфигурация	Success Rate, %	Variance	95 % CI
Baseline (без рандомизации)	78,0	0,142	[0,698; 0,847]
Variant A (визуальная)	84,0	0,098	[0,772; 0,892]
Variant B (визуальная + физическая)	89,0	0,078	[0,831; 0,931]
Proposed (полная рандомизация)	93,0	0,065	[0,862; 0,966]

Наибольший вклад в повышение робастности внесли рандомизация позиции объекта (+6 % SR) и текстуры стола (+4 % SR).

Рандомизация кинематических параметров манипулятора обеспечила дополнительное улучшение на 3 % SR.

Совместное применение всех компонентов дает эффект, превышающий сумму индивидуальных вкладов, что свидетельствует о взаимодополняющем характере визуальной, физической и кинематической рандомизации.

Заклучение и перспективы

В работе рассмотрена проблема повышения робастности RL-политик для задач захвата объекта манипулятором по RGB данным. Предложен комплексный метод доменной рандоми-

зации, включающий варьирование визуальных, физических и кинематических параметров среды при каждом сбросе эпизода.

Основные результаты.

1. Внедрение полной доменной рандомизации позволило увеличить Success Rate с 78 % до 93 % в тестовых сценариях с новыми конфигурациями среды.

2. Дисперсия метрики успеха снижена с 0,142 до 0,065, что свидетельствует о повышении стабильности политики.

3. 95 % доверительный интервал сужен с [0,698; 0,847] до [0,862; 0,966], что подтверждает статистическую значимость улучшений.

Перспективы работы включают валидацию метода на физической платформе UR5 с учетом задержек управления [6] и шумов сенсоров, адаптацию рандомизации для динами-

ческих объектов произвольной формы, а также диапазонов рандомизации (*Automatic Domain*
исследование методов автоматического подбора *Randomization*).

Литература

1. Mandlekar, A. Robot Learning in Homes: Improving Generalization and Reducing Dataset Bias / A. Mandlekar, Y. Zhu, A. Garg, et al. // arXiv preprint. – 2018. – arXiv: 1807.07038 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/1807.07038>.
2. Schulman, J. Proximal Policy Optimization Algorithms / J. Schulman, F. Wolski, P. Dhariwal, A. Radford, O. Klimov // arXiv preprint. – 2017. – arXiv: 1707.06347 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/1707.06347>.
3. 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. – DOI: 10.1109/IROS.2017.8202133.
4. Sutton, R.S. Reinforcement Learning: An Introduction : 2nd ed. / R.S. Sutton, A.G. Barto. – Cambridge : MIT Press, 2018. – 552 p.
5. NVIDIA Isaac Lab: A GPU-Accelerated Simulation Framework for Multi-Modal Robot Learning // arXiv preprint. – 2024. – arXiv: 2404.04276 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/2404.04276>.
6. Кривоногов, Д.Ю. 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 // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 4(199). – С. 105–109. – EDN: HWGX YM.

References

6. Krivonogov, D.YU. Ustranenie effektov fazovogo sdviga v konture upravleniya mobilnogo robota pri RL-navigatsii metodom obucheniya s modeliruemyimi zaderzhkami i istoriej nablyudenij / D.YU. Krivonogov, I.A. Chistyakov, D.V. Kalitin // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 4(199). – S. 105–109. – EDN: HWGX YM.

© И.А. Чистяков, Д.Ю. Кривоногов, С.А. Воротников, 2026

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА ЗАЖИВЛЕНИЯ ПЕРЕЛОМОВ ДЛИННЫХ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКА

К.О. МАГОМЕДРАСУЛОВ¹, М.А. СЕМЕДОВ¹, Д.А. МАГОМЕДОВ¹,
М.Р. МИРЗЕМАГОМЕДОВ²

¹ ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»;

² ФГБУН «Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН»,
г. Махачкала

Ключевые слова и фразы: ультразвук; перелом; длинные трубчатые кости; математическое моделирование; количественный ультразвук; *axial transmission*; *guided waves*; датчик; регенерация костной ткани.

Аннотация: Работа посвящена разработке модельно-ориентированного подхода к ультразвуковому мониторингу заживления переломов длинных трубчатых костей. Актуальность исследования обусловлена необходимостью безопасного и многократного контроля репаративной регенерации костной ткани при ограничениях рентгенографии и компьютерной томографии, связанных с лучевой нагрузкой и недостаточной чувствительностью к ранним изменениям механических свойств регенерата. Цель исследования – разработать математическую модель распространения ультразвуковых волн в системе «мягкие ткани – длинная трубчатая кость – зона перелома – регенерат» и на ее основе обосновать рациональные параметры ультразвукового датчика для неинвазивного мониторинга консолидации переломов. Задачи исследования: сформировать многослойную модель объекта с учетом акустических свойств сред и стадий заживления; определить диагностически значимые параметры ультразвукового отклика; проанализировать влияние геометрии перелома, толщины мягкотканого слоя и параметров датчика на характеристики сигнала; обосновать выбор рабочей частоты, апертуры, базы измерения и схемы контроля по критерию максимальной диагностической чувствительности. Гипотеза исследования состоит в том, что по мере созревания регенерата временные, амплитудные, энергетические и спектральные параметры ультразвукового сигнала закономерно приближаются к значениям интактной кости и могут использоваться как количественные маркеры стадии заживления перелома. В результате показано, что зрелость регенерата, геометрия дефекта, толщина мягких тканей и параметры датчика системно влияют на ультразвуковой отклик, а наиболее перспективными для практической реализации являются односторонние схемы *axial transmission* и *guided-wave*-контроля. Полученные результаты могут быть использованы при разработке ультразвуковых медицинских изделий для неинвазивного контроля заживления переломов длинных трубчатых костей.

Введение

Переломы длинных трубчатых костей остаются одной из наиболее частых причин длительной временной нетрудоспособности и стойких функциональных нарушений. Ключевое значение для травматологии и ортопедии имеет не только первичная диагностика перелома, но

и объективный контроль за процессом его консолидации, поскольку именно своевременная оценка заживления определяет тактику лечения и позволяет выявлять замедленное сращение или формирование несращения. В клинической практике для этих целей традиционно используются рентгенография и компьютерная томография, однако оба метода связаны с ионизиру-

ющим излучением, а КТ, кроме того, остается относительно дорогим и менее доступным методом динамического наблюдения. В последние годы возрастает интерес к неионизирующим технологиям оценки качества кости, включая количественный ультразвук [1–3]. Современные обзоры подчеркивают, что ультразвук может использоваться не только для оценки *bone mineral density surrogate markers*, но и для извлечения характеристик кортикального слоя, включая толщину и пористость, а в перспективе – и для мониторинга состояния кости после перелома [4].

Клиническое применение ультразвука для переломов исторически развивалось в двух направлениях. Первое направление связано с визуализацией поверхностного нарушения кортикального контура, второе – с количественным анализом сигнала, проходящего вдоль кости или через зону перелома. В обзоре *Protopappas* и соавт. отмечено, что *animal* и *clinical studies* продемонстрировали возможность использования скорости распространения ультразвука через область перелома в качестве индикатора заживления, а численное моделирование стало важным инструментом для понимания механизмов этого процесса. В работах по *axial transmission long bones* также показано, что длинная кость должна рассматриваться как сложный упругий волновод, в котором распространяются несколько *guided-wave*-мод, чувствительных к состоянию кортикального слоя и к наличию дефекта.

Несмотря на накопленный научный задел, задачи проектирования специализированного ультразвукового датчика для мониторинга заживления переломов длинных трубчатых костей остаются недостаточно проработанными. В большинстве опубликованных работ акцент сделан либо на клиническом применении, либо на исследовании *guided waves* для оценки *cortical thickness* и *porosity*, тогда как вопрос обоснования параметров датчика применительно к задаче *fracture-healing monitoring* освещен в меньшей степени. Это определяет актуальность разработки модельно-ориентированного подхода, объединяющего математическое моделирование, анализ диагностически значимых параметров сигнала и инженерную оптимизацию измерительной системы.

Целью настоящей статьи является теоретическое обоснование ультразвукового мониторинга заживления переломов длинных

трубчатых костей на основе математического моделирования и формулирование принципов выбора рациональных параметров датчика.

Математическая постановка задачи

Объект исследования рассматривается как многослойная система, включающая мягкие ткани, кортикальный слой длинной трубчатой кости, внутреннюю область кости и локальную зону перелома, свойства которой изменяются по мере регенерации. В первом приближении распространение ультразвука в жидкостных и квазизидкостных областях описывается волновым уравнением:

$$\nabla^2 p(\mathbf{r}, t) - \frac{1}{c^2(\mathbf{r})} \frac{\partial^2 p(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} = 0,$$

где $p(r, t)$ – акустическое давление, $c(r)$ – скорость распространения звука, зависящая от координат. Для кортикальной кости более адекватной является упругая постановка, допускающая распространение продольных, поперечных и направляемых волн. В линейном изотропном приближении уравнение движения записывается как $\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = (\lambda_L + \mu) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}) + \mu \nabla^2 \mathbf{u}$, где $\mathbf{u}$ – вектор смещения, ρ – плотность, λ_L и μ – параметры Ламе. Такой комбинированный упруго-акустический подход соответствует современным представлениям о *guided-wave propagation in cortical bone* и используется в *computational studies of bone ultrasound*.

Важную роль играет акустический импеданс среды:

$$Z = \rho c,$$

который определяет условия отражения на границе раздела сред. Переломная зона моделируется как локальная область изменения геометрии и акустико-механических свойств, а стадия заживления описывается параметром зрелости $\xi \in [0; 1]$, при котором $\xi = 0$ соответствует ранней воспалительной/мягкотканой стадии, а $\xi = 1$ – состоянию, близкому к зрелой костной ткани. Эффективные свойства регенерата могут быть заданы интерполяционными соотношениями вида:

$$\rho_r(\xi) = \rho_f + \xi(\rho_b - \rho_f), \quad c_r(\xi) = c_f + \xi(c_b - c_f),$$

где индексы f и b относятся соответственно к ранней мягкой стадии и зрелой костной ткани. Подобная логика согласуется с опубликованными моделями *fracture healing*, где геометрия и свойства дефекта последовательно менялись от простого разрыва до более жесткой *callus-like*-структуры.

Численное моделирование

Для анализа нестационарных процессов используется численное моделирование во временной области, позволяющее исследовать импульсное возбуждение, форму сигнала, время первого прихода и спектральные характеристики. Выбор *time-domain*-подхода обоснован тем, что именно такие параметры традиционно применяются в *fracture-healing ultrasound*, а также тем, что численные расчеты во временной области широко используются в моделировании *wave propagation in bone*. В литературе показано, что двумерные *FDTD*-модели позволяют исследовать влияние геометрии перелома, угла дефекта и стадии заживления на потери сигнала, а более общие *computational approaches* используются для анализа *underlying wave mechanisms*.

Источник ультразвукового воздействия задается в виде импульса с центральной частотой f_0 :

$$s(t) = s_0 w(t) \sin(2\pi f_0 t),$$

где $w(t)$ – оконная функция. В качестве основных регистрируемых параметров рассматриваются время первого прихода сигнала t_{FA} , эффективная скорость распространения $c_{eff} = L/t_{FA}$, амплитуда A , энергия сигнала $E_s = \int_{t_1}^{t_2} u^2(t) dt$, спектральные характеристики отклика, получаемые с использованием преобразования Фурье. Такой набор параметров соответствует *published literature*, где *propagation velocity*, *amplitude loss* и *guided-wave-features* рассматриваются как информативные признаки состояния кости и перелома.

Постановка задачи оптимизации датчика

Оптимизация параметров датчика формулируется как задача максимизации интегрального критерия диагностической чувствительности:

$$J = w_1 S_f + w_2 S_h + w_3 R_s - w_4 V_t,$$

где S_f – чувствительность к наличию и геометрии перелома, S_h – чувствительность к стадии заживления, R_s – показатель устойчивости и информативности сигнала, V_t – чувствительность к вариациям мягкотканого слоя, w_i – весовые коэффициенты. В качестве оптимизируемых параметров рассматриваются рабочая частота, ширина апертуры, база измерения и конфигурация излучатель – приемник. Многокритериальный подход оправдан, поскольку современные *bone ultrasound systems* должны одновременно обеспечивать чувствительность к *cortical properties* и устойчивость к *soft-tissue-related uncertainty*.

Результаты

Проведенный теоретический анализ и численное моделирование показали, что ультразвуковой отклик длинной трубчатой кости при наличии перелома определяется совокупностью нескольких механизмов: отражением и рассеянием в области дефекта, затуханием в мягких тканях, перераспределением энергии между *guided-wave*-компонентами и изменением эффективной передачи энергии по мере роста жесткости регенерата. При интактной кости регистрируемый сигнал соответствует распространению волн вдоль кортикального слоя, тогда как введение перелома приводит к выраженному снижению амплитуды и к изменению временной структуры сигнала. Подобные закономерности согласуются с опубликованными *2D*-моделями переломов, в которых *transverse* и *oblique fractures* вызвали заметные потери ультразвукового сигнала.

Показано, что по мере увеличения параметра зрелости регенерата ξ изменяются как амплитудные, так и временные характеристики сигнала. На ранних стадиях заживления, когда переломная зона имеет свойства, близкие к жидкостной или мягкотканой среде, наблюдаются максимальные потери энергии и наибольшее отклонение времени первого прихода от соответствующего значения для интактной кости. При увеличении жесткости регенерата происходит восстановление передачи энергии через переломную область, увеличение коэффициента прохождения и сокращение t_{FA} . Это соответствует литературным данным, согласно которым *propagation velocity across fractured bones*

can be used as an indicator of healing.

Установлено, что на диагностическую информативность сигнала существенно влияет геометрия перелома. Поперечные и косые переломы не только вызывают различную степень ослабления сигнала, но и по-разному влияют на модовый состав *guided-wave-response*. В *axial-transmission*-исследованиях показано, что при встрече *guided waves* с переломом может происходить *mode conversion between the fundamental modes S0 and A0*, что является дополнительным источником информации о дефекте. Следовательно, анализ только общей амплитуды сигнала недостаточен, а модовая структура отклика должна рассматриваться как потенциальный диагностический признак.

Важным результатом является подтверждение существенного влияния мягкотканого слоя на *guided-wave*-сигнал. Увеличение толщины мягких тканей приводит к дополнительному затуханию, уменьшению амплитуды и изменению временных характеристик сигнала. Этот вывод соответствует опубликованным данным, где влияние *overlying soft tissue layer varying thickness* на *guided waves in cortical bone* признано одним из ключевых факторов неопределенности *in vivo*. Отсюда следует, что выбор диагностических признаков и оптимизация датчика должны проводиться не в идеализированной схеме «голая кость», а с обязательным учетом мягкотканого покрытия [5; 6].

На основе проведенного моделирования обосновано, что для задач мониторинга переломов длинных трубчатых костей перспективны односторонние схемы контроля типа *axial transmission*, ориентированные на регистрацию *guided waves* в кортикальном слое. Современные устройства, использующие *axial transmission* и *bi-directional measurement*, уже демонстрируют клиническую применимость для оценки *cortical thickness* и *cortical porosity*, что указывает на реальность переноса такого подхода на задачу мониторинга перелома. В рамках настоящей работы показано, что рабочая частота, ширина апертуры и база измерения должны выбираться не по максимуму амплитуды как таковой, а по максимуму диагностической чувствительности к состоянию переломной зоны.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что

ультразвуковой мониторинг переломов длинных трубчатых костей следует рассматривать прежде всего как задачу количественного анализа волнового отклика, а не только как задачу сонографической визуализации кортикального контура. Это особенно важно в контексте развития *bone QUS*, где за последние годы акцент сместился от *surrogate*-показателей, связанных с *bone mineral density*, к извлечению *intrinsic bone properties*, включая *thickness*, *porosity* и *material properties*. В этом отношении переломная зона может быть интерпретирована как локальное изменение эффективных свойств волновода, а ее заживление – как последовательный переход от акустически и механически «разобщенного» состояния к более непрерывной среде [7–9].

С научной точки зрения важным является вывод о том, что наиболее информативными параметрами оказываются не абсолютные значения сигнала, а его относительные изменения и их динамика. Для инженерной системы мониторинга это означает, что датчик и алгоритмы обработки должны быть ориентированы на отслеживание тенденций t_{FA} , c_{eff} коэффициента прохождения и энергетических характеристик во времени. Такой подход потенциально позволяет уменьшить влияние межиндивидуальной вариабельности и использовать ультразвук для персонализированного динамического наблюдения.

Вместе с тем предлагаемая модель имеет ряд ограничений. Во-первых, она опирается на упрощенную геометрию кости и эффективные параметры среды, тогда как реальная кость анизотропна и неоднородна. Во-вторых, параметр зрелости регенерата ξ представляет собой инженерный эквивалент сложного биологического процесса. В-третьих, работа не включает собственную экспериментальную верификацию, а опирается на сопоставление с опубликованными данными. Поэтому полученные выводы следует рассматривать как физически и инженерно обоснованную основу для следующего этапа – фантомных, *ex vivo* и *in vivo* исследований. Такой путь развития соответствует общей логике *fracture-healing ultrasound studies*, где *computational*, *animal* и *clinical data* взаимно дополняют друг друга.

Практическое значение результатов заключается в формировании требований к специализированному ультразвуковому датчику. Во-первых, датчик должен быть ориентирован

на *guided-wave / axial-transmission* схему. Во-вторых, требуется робастность к *soft-tissue variability* и стабильность позиционирования. В-третьих, предпочтительным является много-частотный или по крайней мере настраиваемый по частоте режим, позволяющий балансировать между глубиной проникновения и чувствительностью к состоянию перелома. Эти положения соответствуют современным направлениям развития *bone ultrasound instrumentation* [10–12].

Заключение

Разработан модельно-ориентированный подход к ультразвуковому мониторингу заживления переломов длинных трубчатых костей, основанный на многослойной математической модели системы «мягкие ткани – кость – перелом – регенерат» и на анализе временных, амплитудных, энергетических и спектральных параметров сигнала.

Показано, что состояние переломной зоны и стадия ее регенерации закономерно отражаются в характеристиках ультразвукового отклика. Наиболее информативными параметрами являются время первого прихода сигнала, эффективная скорость распространения, коэффициент прохождения и энергия сигнала. Установлено, что геометрия перелома, толщина мягкотканого покрытия и параметры датчика оказывают существенное влияние на диагностическую чувствительность системы.

Обосновано, что перспективным направлением для практической реализации является использование односторонних *axial-transmission* и *guided-wave* схем с оптимизацией рабочей частоты, апертуры и базы измерения по критерию максимальной информативности. Полученные результаты могут быть использованы при разработке ультразвуковых медицинских изделий для неинвазивного мониторинга заживления переломов длинных трубчатых костей.

Литература/References

1. Grimal, Q. Quantitative ultrasound assessment of cortical bone properties beyond bone mineral density / Q. Grimal, P. Laugier // IRBM. – 2019. – Vol. 40. – P. 16–24. – DOI: 10.1016/j.irbm.2018.10.006.
2. Montazeri, A. Biomechanical aspects of fracture healing under ultrasound stimulation / A. Montazeri, et al. // Journal of Orthopaedic Research. – 2024.
3. Wang, M. Evaluation methods of fracture healing: a review / M. Wang, S. Zheng, S. Gao, P. Li, S. Cui, L. Xia // Journal of Mechanics in Medicine and Biology. – 2024. – DOI: 10.1142/S0219519424400645. – EDN: DPRZWN.
4. Protopappas, V.C. Ultrasonic monitoring of bone fracture healing / V.C. Protopappas, M.G. Vavva, D.I. Fotiadis, K.N. Malizos // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. – 2008. – DOI: 10.1109/TUFFC.2008.787.
5. Dodd, S.P. Modelling the effects of fracture geometry on ultrasound signal / S.P. Dodd, et al. // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering. – 2007. – DOI: 10.1080/10255840701502387.
6. Tran, T.N.H.T. Ultrasonic guided waves in bone: review / T.N.H.T. Tran, L.H. Le, D. Ta // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. – 2022. – DOI: 10.1109/TUFFC.2022.3197095.
7. Xu, K. Axial transmission method for long bone assessment / K. Xu, D. Ta, P. Moilanen // Ultrasound in Medicine & Biology. – 2016.
8. Chaboty, A. Cortical bone properties assessment using guided waves / A. Chaboty, et al. // Journal of the Acoustical Society of America (JASA). – 2024. – DOI: 10.1121/10.0028173. – EDN: PCGKNZ.
9. Minonzio, J.G. Bi-directional axial transmission for cortical bone assessment / J.G. Minonzio, et al. // Scientific Reports. – 2022. – DOI: 10.1371/journal.pone.0277831. – EDN: QCIGSK.

РАЗРАБОТКА И ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ УГРОЗ ДЛЯ СЕТЕЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ АТАК

С.В. МАЛАХОВ, С.В. КИМ, А.Ф. ЗАКИРОВ, К.И. ПОДОПРЕЛОВ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,
г. Самара

Ключевые слова и фразы: интернет вещей; генеративно-состязательные сети; модель угроз; адаптивные атаки; обнаружение вторжений; синтетические данные; несбалансированные выборки; имитационное моделирование.

Аннотация: Цель исследования: разработка и валидация модели угроз для сетей Интернета вещей (**IoT**) на основе генеративно-состязательных сетей (**GAN**) с целью повышения эффективности обнаружения редких классов атак. Задачи: разработать архитектуру условной **GAN** с несколькими дискриминаторами для генерации синтетических данных о сетевых атаках; предложить метод адаптивных атак на базе суррогатных градиентов против недифференцируемого ансамбля **IDS**; провести имитационное моделирование в среде **NS-3** и валидацию на публичных наборах данных. Гипотеза: применение **GAN** для балансировки обучающих выборок и состязательного тренинга **IDS** позволит существенно повысить полноту обнаружения редких атак классов **U2R** и **R2L** и увеличить робастность системы к адаптивным воздействиям. Методы: условная **GAN** с двумя специализированными дискриминаторами и композитной функцией потерь; метод суррогатных градиентов с **MLP**-аппроксиматором ($R^2 = 0,94$); ансамблевая **IDS** (*Random Forest*, *XGBoost*, *LightGBM*); имитационное моделирование в **NS-3** (v3.35); валидация на наборах **UNSW-NB15** и **CICIDS2017**. Достигнутые результаты: предложенная архитектура обеспечивает **KL**-дивергенцию 0,124 и точность классификации синтетических данных 95,8 %; полнота обнаружения атак классов **U2R** и **R2L** повышена на 38 % и 27 % соответственно; робастность **IDS** к адаптивным атакам возросла в 2,33 раза.

Введение

Современный этап развития инфокоммуникационных систем характеризуется экспоненциальным ростом числа устройств Интернета вещей (более 15 млрд), что порождает новые вызовы в области кибербезопасности. Традиционные системы обнаружения вторжений (**IDS**) демонстрируют недостаточную эффективность применительно к сетям **IoT** в силу ограниченности вычислительных ресурсов конечных устройств и высокой динамики появления новых уязвимостей [1; 2].

Особую проблему представляет несбалансированность доступных наборов данных: если атаки типа **DoS** широко представлены в

публичных датасетах, то классы *User-to-Root* (**U2R**) и *Remote-to-Local* (**R2L**) присутствуют в минимальных количествах, что приводит к снижению полноты обнаружения реальных инцидентов [3]. Перспективным направлением выступает применение генеративно-состязательных сетей (**GAN**) [4], находящих двойное применение: для генерации синтетических данных, балансирующих обучающие выборки [5], и для создания адаптивных атак, способных обходить существующие системы защиты [6].

Научная новизна работы заключается в разработке архитектуры условной **GAN** с композитной функцией потерь, учитывающей физические ограничения признаков сетевого трафика, что обеспечивает генерацию достоверных

Таблица 1. Сравнение качества генерации синтетических данных

Архитектура GAN	KL-диверг. (↓)	Точность класс. синт. данных (%)	F1-score редких атак
Обычная GAN	0,284	86,3	0,72
CGAN (условная)	0,192	91,7	0,81
WGAN (Wasserstein)	0,176	92,4	0,83
Предлагаемая ($D_1 + D_2$)	0,124	95,8	0,89

синтетических данных для редких классов атак и создание реалистичных адаптивных атакующих воздействий.

Методология построения модели угроз

Классификация угроз и анализ данных

Согласно таксономии [7], выделяются атаки на физическом, сетевом (перехват трафика, подмена узлов, DoS) и прикладном уровнях. Анализ набора UNSW-NB15 [8] подтверждает существенную диспропорцию классов: Normal – 56 % (93000), DoS – 16 % (26560), Probe – 14 % (23240), R2L – 1,2 % (1992), U2R – 0,2 % (332). Дефицит обучающих примеров по редким классам мотивирует применение методов генерации синтетических данных.

Архитектура условной GAN с несколькими дискриминаторами

Сетевой трафик представляет собой структурированные данные, включающие категориальные признаки (протоколы, флаги, порты) и непрерывные величины (размеры пакетов, временные интервалы).

Дискриминатор D_1 (реалистичности) оценивает статистическое правдоподобие распределений непрерывных признаков. Вход: вектор признаков $x \in R^{49}$ и код класса y (one-hot). Архитектура: $[59 \rightarrow 256 \rightarrow 128 \rightarrow 64 \rightarrow 1]$, выход: Sigmoid.

Дискриминатор D_2 (семантической согласованности) оценивает протокольную корректность категориальных признаков согласно RFC. Реализован как мягкий классификатор нарушений, обученный на 23 эвристических правилах. Архитектура: $[59 \rightarrow 128 \rightarrow 64 \rightarrow 1]$, выход: Sigmoid.

Композитная функция потерь

Общая функция потерь для генератора:

$$LG = \lambda_{adv} \cdot L_{adv} + \lambda_{cls} \cdot L_{cls} + \lambda_{sem} \cdot L_{sem},$$

где весовые коэффициенты: $\lambda_{adv} = 1,0$, $\lambda_{cls} = 0,5$, $\lambda_{feat} = 0,3$. Потери на достоверность признаков L_{feat} штрафуют за выход сгенерированных значений за допустимые физические границы. Выбор значений гиперпараметров выполнен эмпирически на основе максимизации F1-меры для редких классов на валидационной выборке.

Предобработка данных и обучение

Набор UNSW-NB15 содержит 49 признаков и 175341 запись. Предобработка включала:

- 1) нормализацию непрерывных признаков методом *min-max* для 40 непрерывных признаков;
- 2) кодирование категориальных переменных методом *one-hot*;
- 3) разделение на обучающую (70 %), валидационную (15 %) и тестовую (15 %) выборки.

Параметры обучения: оптимизатор *Adam* ($\beta_1 = 0,5$, $\beta_2 = 0,999$), скорость обучения $\alpha = 10^{-4}$, размер батча 64, количество эпох 500. Общее время обучения на GPU NVIDIA RTX 3090: 6,2 часа.

Оценка качества генерируемых данных

KL-дивергенция рассчитывалась отдельно для дискретных и непрерывных признаков с последующим агрегированием по 49 признакам. Для оценки полезности выполнялось обучение классификатора *LightGBM* на реальных, синтетических и смешанных данных с тестированием на реальной выборке.

Предлагаемая архитектура обеспечивает наименьшую KL-дивергенцию (0,124 против 0,176 у WGAN), точность классификации 95,8 % и F1-меру 0,89 для редких атак, что на 7,2 % выше WGAN [9; 10].

Разработка модели адаптивных атак

Под адаптивными понимаются атаки, моди-

Таблица 2. Сравнительный анализ эффективности обнаружения атак

Класс	<i>Recall</i> до	<i>Recall</i> после	<i>Prec.</i> до	<i>Prec.</i> после	<i>F1</i> до	<i>F1</i> после
<i>Normal</i>	0,98	0,97	0,93	0,96	0,95	0,96
<i>DoS</i>	0,91	0,94	0,89	0,92	0,90	0,93
<i>Probe</i>	0,87	0,93	0,86	0,91	0,86	0,92
<i>R2L</i>	0,58	0,85	0,62	0,84	0,60	0,84
<i>U2R</i>	0,41	0,79	0,53	0,81	0,46	0,80

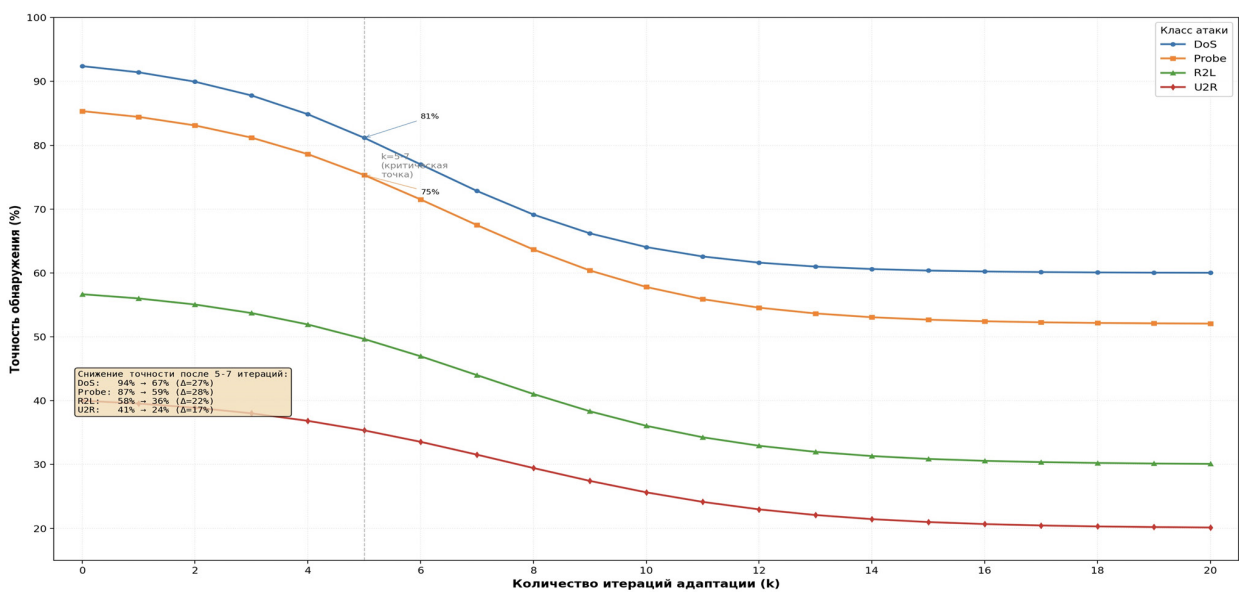


Рис. 1. Снижение эффективности обнаружения при адаптации атак

фицирующие свои характеристики для обхода систем обнаружения. Предлагаемая модель базируется на применении *GAN* в состязательном режиме, где генератор выступает инструментом создания атакующих воздействий [12; 13].

Формализация генератора атак

Вектор возмущений δ ограничен:

$$\|\delta\|_{\infty} \leq \varepsilon = 0,1.$$

Целевая функция максимизирует вероятность классификации атаки как легитимного трафика при ограничении величины изменений (коэффициент регуляризации $\gamma = 0,01$).

Метод суррогатных градиентов

Поскольку целевой ансамбль *IDS* (*Random Forest* + *XGBoost* + *LightGBM*) является недифференцируемым, применяется суррогатная модель: *MLP* [49 → 128 → 64 → 1], аппроксимирующая вероятности ансамбля ($R^2 = 0,94$).

Алгоритм *Surrogate-PGD* выполняет $K = 20$ итераций адаптации с шагом α и проекцией на ε -шар.

Имитационное моделирование

Сетевая топология

Имитационная среда *NS-3* (v3.35) включала три сегмента: *IoT*-устройства (50 узлов: датчики температуры, камеры, актуаторы), шлюзы (5 узлов на базе *Raspberry Pi 4*) и сегмент ЦОД (3 узла). *Wi-Fi* 802.11n канал: 150 Мбит/с, задержка 5 ± 2 мс. Время симуляции: 3 600 с.

Архитектура *IDS*

Целевая *IDS* реализована как ансамбль с голосованием большинством: *Random Forest* (100 деревьев), *XGBoost* (150 раундов) и *LightGBM* (200 деревьев).

Суммарная потребность в памяти: 288 МБ из 4 ГБ шлюза (7,2 %). Производительность:

~240 классификаций/с.

Экспериментальные сценарии

Сценарий 1: базовое тестирование *IDS* на несбалансированной выборке с традиционными атаками ($k = 0$).

Сценарий 2: оценка устойчивости к адаптивным атакам ($k = 10$ итераций).

Сценарий 3: дообучение с балансировкой – генерация синтетических образцов для *R2L* (до 20 000) и *U2R* (до 20 000), итоговая выборка 250 000 образцов.

Результаты экспериментов

Прирост *Recall* для класса *R2L*: $0,85 - 0,58 = 0,27$ (46,6 %). Прирост *Recall* для класса *U2R*: $0,79 - 0,41 = 0,38$ (92,7 %). Статистическая значимость подтверждена t -критерием ($t = 36,3 > t_{crit} = 2,756, p < 0,001$).

Устойчивость к адаптивным атакам

До балансировки средняя деградация точности при $k = 10$: $\Delta = 28$ %. После балансировки синтетическими данными: $\Delta = 12$ %. Коэффициент улучшения робастности: $K_{robust} = 28\% / 12\% = 2,33$.

Рис. 1 демонстрирует, что основное снижение точности обнаружения происходит в первые 5–7 итераций адаптации: *DoS* с 94 % до 67 % ($\Delta = 27$ %), *Probe* с 87 % до 59 % ($\Delta = 28$ %), *R2L* с 58 % до 36 % ($\Delta = 22$ %), *U2R* с 41 % до 24 % ($\Delta = 17$ %). После этого кривая выходит на плато, что указывает на существование критической точки насыщения адаптации [6].

Анализ результатов и перспективы

Результаты подтверждают эффективность применения *GAN* для построения моделей угроз в сетях *IoT*. Предложенная архитектура генерирует синтетические данные с *KL*-дивергенцией 0,124, обеспечивая прирост обнаружения редких атак на 23–27 %, что сопо-

ставимо с лучшими аналогами [13; 14].

Модель адаптивных атак демонстрирует снижение точности обнаружения на 17–28 % после 5–7 итераций, что требует пересмотра принципов построения *IDS*. Перспективы развития: адаптация для бортовых контроллеров (квантизация весов сокращает память на 75 % при потере точности не более 3 %), применение графовых нейронных сетей для учета топологических взаимодействий [15] и интеграция с методами объяснимого ИИ для анализа признаков успешных атак [16]. Практическая значимость подтверждена внедрением в систему экологического мониторинга (200 станций, 18 месяцев): снижение среднего времени простоя с 4,5 до 1,2 ч/месяц (–73 %), сокращение трудозатрат на ручной анализ с 48 до 16 чел.-ч/месяц. Общий экономический эффект: 1 746 000 руб/год при сроке окупаемости 2,4 месяца.

Заключение

В настоящем исследовании разработана и валидирована модель угроз для сетей Интернета вещей на базе генеративно-состязательных сетей. Предложенная архитектура условной *GAN* с несколькими дискриминаторами и композитной функцией потерь обеспечивает *KL*-дивергенцию 0,124 и точность классификации на синтетических данных 95,8 %, превосходя базовые архитектуры. Модель адаптивных атак на основе состязательного обучения позволяет генерировать полиморфные воздействия, снижающие точность обнаружения *IDS* на 17–28 % после 5–7 итераций адаптации. Экспериментально подтверждена эффективность балансировки выборок синтетическими данными: полнота обнаружения классов *R2L* и *U2R* повысилась на 27 % и 38 % соответственно. Включение состязательного тренинга повысило робастность *IDS* к адаптивным атакам в 2,33 раза.

Литература

1. Hassan, W.H. Current research on the Internet of Things (IoT) security: a survey / W.H. Hassan // Computer Networks. – 2019. – Vol. 148. – P. 283–294. – DOI: 10.1016/j.comnet.2018.11.025. – EDN: XUYUYP.
2. Manivannan, D. Recent endeavors in machine learning-powered intrusion detection systems for the internet of things / D. Manivannan // Journal of Network and Computer Applications. – 2024. – Vol. 225. – Article 103925. – DOI: 10.1016/j.jnca.2024.103925. – EDN: GQOSLP.
3. Henderson, J. GAN-based Synthetic Data Generation for Minority Intrusion Classes in IoT Datasets / J. Henderson, M. Norman // Preprints. – 2025. – Article 202507.0325. – DOI: 10.20944/preprints202507.0325.v1.

4. Goodfellow, I. Generative adversarial nets / I. Goodfellow, et al. // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2014. – Vol. 27. – P. 2672–2680.
5. Chen, X. IoT-GAN: anomaly detection for time series in IoT based on generative adversarial networks / X. Chen, et al. // *ICA3PP*. – Cham : Springer, 2021. – P. 234–248.
6. Arif, R.M. A deep reinforcement learning framework to evade black-box machine learning based IoT malware detectors using GAN-generated influential features / R.M. Arif, et al. // *IEEE Access*. – 2023. – Vol. 11. – P. 133717–133729. – DOI: 10.1109/access.2023.3334645. – EDN: LUFMJN.
7. Deogirikar, J. Security attacks in IoT: a survey / J. Deogirikar, A. Vidhate // *I-SMAC 2017*. IEEE, 2017. – P. 32–37. – DOI: 10.1109/I-SMAC.2017.8058363.
8. Zoghi, Z. UNSW-NB15 computer security dataset: Analysis through visualization / Z. Zoghi, G. Serpen // *Security and Privacy*. – 2024. – Vol. 7. – No. 1. – Article 331. – DOI: 10.1002/spy2.331. – EDN: URZMXW.
9. Kim, T. Early detection of network intrusions using a GAN-based one-class classifier / T. Kim, W. Pak // *IEEE Access*. – 2022. – Vol. 10. – P. 47231–47242. – DOI: 10.1109/access.2022.3221400. – EDN: NGXREH.
10. Ezeme, O.M. Design and development of AD-CGAN: conditional generative adversarial networks for anomaly detection / O.M. Ezeme, et al. // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – P. 177751–177763. – DOI: 10.1109/access.2020.3025530. – EDN: HCCXAT.
11. Sharafaldin, I. Toward generating a new intrusion detection dataset and intrusion traffic characterization / I. Sharafaldin, et al. // *ICISSP*, 2018. – P. 108–116. – DOI: 10.5220/0006639801080116.
12. Легашев, Л.В. Методика построения устойчивой системы защиты на основе состязательного машинного обучения в беспроводных сетях 6G / Л.В. Легашев, Л.С. Забродина // *Вопросы кибербезопасности*. – 2023. – № 4. – С. 45–56. – DOI: 10.21681/2311-3456-2023-2-99-108. – EDN: TSYCKY.
13. Moudoud, H. Detection and prediction of FDI attacks in IoT systems via hidden Markov model / H. Moudoud, et al. // *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 9. – No. 5. – P. 2978–2990. – DOI: 10.1109/tnse.2022.3161479. – EDN: MOBFNR.
14. Chandrasekar, A. Further results on input-to-state stability of stochastic Cohen-Grossberg BAM neural networks / A. Chandrasekar, et al. // *Neural Processing Letters*. – 2022. – Vol. 54. – P. 613–635. – DOI: 10.1007/s11063-021-10649-w. – EDN: HCYKWU.
15. Yumlembam, R. IoT-based android malware detection using graph neural network with adversarial defense / R. Yumlembam, et al. // *IEEE Internet of Things Journal*. – 2023. – Vol. 10. – No. 10. – P. 8432–8444. – DOI: 10.1109/jiot.2022.3188583. – EDN: SWDLNJ.
16. Hussain, A. Real-time explainable IoT security with machine learning and CTGAN-enhanced detection for resource-constrained devices / A. Hussain, et al. // *Ad Hoc Networks*. – 2025. – Vol. 178. – Article 103937. – DOI: 10.1016/j.adhoc.2025.103937. – EDN: HITGAM.

References

12. Legashev, L.V. Metodika postroeniya ustojchivoj sistemy zashchity na osnove sostyazatel'nogo mashinnogo obucheniya v besprovodnykh setyakh 6G / L.V. Legashev, L.S. Zabrodina // *Voprosy kiberbezopasnosti*. – 2023. – № 4. – С. 45–56. – DOI: 10.21681/2311-3456-2023-2-99-108. – EDN: TSYCKY.

© С.В. Малахов, С.В. Ким, А.Ф. Закиров, К.И. Подопрелов, 2026

ANALYTIC COMPUTATION OF MORSE INDEX FOR SOLUTIONS OF SCHRÖDINGER EQUATION WITH TRANSLATIONAL PARAMETER ON STAR GRAPH

N.G. ROGOZINA, YU.V. ELISEEVA

Moscow State University of Technology "Stankin",
Moscow

Keywords and phrases: quantum graphs; Schrödinger equation; oscillation theorems; Morse index.

Abstract: This paper considers boundary value problems for a linear Schrödinger equation on a noncompact star graph (N half-lines glued at the common vertex) with Robin and Kirchhoff conditions in the centrum of the star. The main applications are connected with investigations of spectral and orbital instability of $K + 1$, $K = 0, 1, \dots, [(N - 1)/2]$ ground states of an associated nonlinear Schrödinger (NLS) equation with any positive power nonlinearity and Robin boundary conditions. We also consider the problem with Kirchhoff boundary conditions for the case $N = 2l$, when there exist $K > 1$ ground states depending on translational parameter. For both problems we present analytic computation of the Morse index (the number of negative eigenvalues of the problems), using a new implementation of the Maslov index.

Introduction

In this paper we consider a new implementation of the Maslov index [1–5], introduced in [6–8] to study the real spectrum of linear self-adjoint Hamiltonian boundary value problems arising in investigations of stability of standing waves for nonlinear Schrödinger equation [9–11]

$$i \frac{\partial u_j(x, t)}{\partial t} = - \frac{\partial^2 u_j(x, t)}{\partial x^2} - (p + 1) |u_j(x, t)|^{2p} u_j(x, t), \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad p > 0, \quad N \geq 3 \quad (1)$$

on a noncompact star graph G . The star graph G is constructed by gluing together N half-lines (edges) at a common vertex v , where each edge can be regarded as $\mathbb{R}^+$, and the vertex v is placed at the origin. In the centrum v of the star (for $x = 0$) we assume the continuity of u_j and the Robin conditions:

$$\begin{cases} u_j(0, t) = u_i(0, t), \quad i \neq j, \\ \sum_{j=1}^N \frac{du_j(x, t)}{dx} \Big|_{x=0} = \alpha u_N(0, t), \quad \alpha \in \mathbb{R}, \end{cases} \quad (2)$$

in particular, for $\alpha = 0$ we have in (2) Kirchhoff boundary conditions [11]. Each component u_j is defined on the j -th edge of G and belongs to $L_2(\mathbb{R}^+)$ -based Sobolev space $H_2(\mathbb{R}^+)$, see [9–11].

Equation (1) is related to the study of the propagation of matter waves in Bose-Einstein condensates or optical pulses in fibers and various physical experiments related to wave propagation in narrow waveguides [12; 13].

The stationary states of (1) for any $\omega > 0$ are determined by solutions in the form of the standing waves

$$u_j(x, t) = e^{i\omega t} u_j^\omega(x), \quad j = 1, 2, \dots, N,$$

where $u_j^\omega(x)$ obey the stationary equations

$$-\frac{\partial^2 u_j^\omega(x)}{\partial x^2} - (p+1) |u_j^\omega(x)|^{2p} u_j^\omega(x) = \omega u_j^\omega(x), \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

with the boundary conditions

$$u_1^\omega(0) = \dots = u_N^\omega(0), \quad \sum_{j=1}^N u_j^{\omega \prime}(0) = \alpha u_N^\omega(0). \quad (4)$$

According to Theorem 4 in [9], see also Lemma 2.4 in [10], under the assumption $p > 0, N \geq 3, \alpha \neq 0, \omega > \frac{\alpha^2}{(N-2K)^2}, K = 0, 1, \dots, \left[\frac{N-1}{2}\right]$ there exist $K+1$ explicit solutions $\varphi_{j,K}(x) \in H^2(\mathbb{R}^+)$ of (3), (4) which depend on a real parameter a_K uniquely defined by α, ω, K, N .

For the case $\alpha = 0$ in (2) problem (3), (4) has unique solution $\varphi_{j,0}(x)$ for odd N , whereas $N = 2l$ is even, there exists additional solutions $\varphi_{j,K}(x), K = l$ with translational parameter $a \in \mathbb{R}$, see Lemma 3.4 in [14].

Linearization of (1) around the stationary states $\varphi_{j,K}(x)$ is achieved by substituting

$$u_j(x, t) = e^{i\omega t} \varphi_{j,K}(x) + e^{i\omega t} (v_j(x, t) + i w_j(x, t))$$

and neglecting higher order terms than linear in (1). The real functions $v_j(x, t), w_j(x, t) \in H^2(\mathbb{R}^+)$, $j = 1, 2, \dots, N$ obey the linear system

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_j(x, t)}{\partial t} &= L_- w_j(x, t), \quad \frac{\partial w_j(x, t)}{\partial t} = -L_+ v_j(x, t), \\ L_\pm &= -\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \omega - V_\pm(x), \end{aligned} \quad (5)$$

$$V_+(x) = (p+1)(2p+1)\varphi_{j,K}^{2p}(x), \quad V_-(x) = (p+1)\varphi_{j,K}^{2p}(x) \quad (6)$$

and the boundary conditions defined by (2). Discrete spectra of the self-adjoint boundary value problems with operators L_-, L_+ , in particular, the Morse index (the number of negative eigenvalues) plays a crucial role in the investigation of the stability of $\varphi_{j,K}(x)$, see [1–5; 9–14] and references given therein.

In this paper we use the so-called oscillation numbers, see [6–8] counting the number of negative eigenvalues of the boundary value problems for the operators (5), (6). The spectral counting based on the oscillation numbers is a generalization of the Abramov method [15; 16] for calculating eigenvalues of linear Hamiltonian systems. In particular, in this paper we use solutions of transformed Riccati equations to transfer asymptotic boundary conditions at infinity to the centrum of the star graph.

The paper is organized as follows. In Section II we recall the definition of the oscillation numbers and formulate Theorem 1 which presents the number of eigenvalues in $(-\infty; 0)$ for the boundary problems with operators (5) on the star graph. In Theorem 2 we present an explicit representation of the oscillation numbers for the case $p > 0, N \geq 3, \alpha \neq 0, \omega > \frac{\alpha^2}{(N-2K)^2}, K = 1, \dots, \left[\frac{N-1}{2}\right]$ as well as its corollary (see Corollary 3) for the case $\alpha = 0, N = 2l$, when there exist solutions with translational parameter $a \in \mathbb{R}$ [14]. Observe that these results are continuation of the investigations in [17], where we

considered the case $p > 0$, $\omega > \frac{\alpha^2}{N^2}$, $K = 0$ for $\alpha \neq 0$ and the case $\alpha = 0$, $N = 2l + 1$, when problem (4), (5) has unique solution $\varphi_{j,0}(x)$. In Section III we use Theorem 2 and Corollary 3 for analytic computations of the Morse index of the problems with operators (5), (6) for the mentioned above cases, see Theorems 4, 5. In Section IV we present the proof of Theorem 2 and Section V is devoted to some concluding remarks about further applications of the results of the paper.

Results

A. Oscillation numbers

Now we recall the definition of the oscillation numbers introduced in [6] and later generalized in [7]. Consider the $2N \times N$ continuous matrices $Y(x) = \begin{pmatrix} X^T(x) & U^T(x) \end{pmatrix}^T$ with $x \in [a, b]$ and the $N \times N$ blocks $X(x), U(x)$ such that

$$\text{rank } Y(x) = N, \quad X^T(x)U(x) = U^T(x)X(x) \quad (7)$$

for all $x \in [a, b]$. We will call $Y(x)$ as Lagrangian paths. Introduce a partition of the interval $[a, b]$

$$\Pi: a = x_0 < x_1 < \dots < x_{r-1} < x_r = b, \quad (8)$$

such that for any $x \in [x_i, x_{i+1}]$ there exists a constant symplectic transformation matrix R_i , i.e. $R_i^T J R_i = J$, $J = \begin{pmatrix} 0_N & I_N \\ -I_N & 0_N \end{pmatrix}$ (here $I_N, 0_N$ are the $N \times N$ identity and zero matrices) with the conditions

$$\begin{aligned} \det X_i(x) &\neq 0, \quad x \in [x_i, x_{i+1}], \quad i = 0, 1, \dots, r-1, \\ Y_i(x) &= \begin{pmatrix} X_i(x) \\ U_i(x) \end{pmatrix} = R_i^{-1} Y(x), \quad i = 0, 1, \dots, r-1. \end{aligned}$$

Define the comparative index $\mu(Y_1, Y_2)$ (see [18]) for the $2N \times N$ matrices $Y_1 = \begin{pmatrix} X_1 \\ U_1 \end{pmatrix}, Y_2 = \begin{pmatrix} X_2 \\ U_2 \end{pmatrix}$ which obey condition (7) and such that $\det(X_1) \neq 0$, then

$$\mu(Y_1, Y_2) = \text{ind} \left(w^T X_1^{-1} X_2 \right), \quad w = Y_1^T J Y_2 = X_1^T U_2 - U_1^T X_2 \quad (9)$$

(here $\text{ind}(A)$ denotes the number of negative eigenvalues of the symmetric matrix $A = A^T$). Then, by [6] the oscillation number for $Y(x)$ is given by

$$N(Y(\cdot), [a, b]) = - \sum_{i=0}^{r-1} \mu(Y_i(x), R_i^{-1} (0_N \ I_N)^T) \Big|_{x_i}^{x_{i+1}}. \quad (10)$$

In this paper we use the oscillation numbers (10) for the transformed Lagrangian path $Z_\beta^{-1} Y(x)$, where the symplectic matrix Z_β is defined by the boundary conditions at the centrum of the star graph. According to Theorem 3.1 in [8] it is sufficient to construct a partition (8) for $Y(x)$ and then replace the matrix $(0_N \ I_N)^T$ in (10) by $J^T \beta$, where $J^T \beta = Z_\beta (0_N \ I_N)^T$, see the next subsection for the details.

B. Main oscillation theorems

Consider the eigenvalue problem on the star graph G , where the boundary condition at the centrum v of the star is rewritten in the following well-known matrix form (see [19])

$$\begin{cases} -y_j''(x, \lambda) + (\omega - V_j(x)) y_j(x, \lambda) = \lambda y_j(x, \lambda), \\ y_j(x, \lambda) \in H^2(\mathbb{R}^+), \quad j=1, 2, \dots, N, \\ A \begin{bmatrix} y_1(0, \lambda) \\ y_2(0, \lambda) \\ \vdots \\ y_N(0, \lambda) \end{bmatrix} + B \begin{bmatrix} y_1'(0, \lambda) \\ y_2'(0, \lambda) \\ \vdots \\ y_N'(0, \lambda) \end{bmatrix} = 0, \end{cases} \quad (11)$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -\alpha \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

The continuous function $V_j(x)$, $x \in [0, \infty)$ obeys the conditions [20]

$$|V_j(x)| < Ce^{-\eta x}, \quad \eta > 0, j=1, 2, \dots, N. \quad (12)$$

For any $\lambda \in \mathbb{R}$, $\lambda < \omega$ we define the Lagrangian path for solutions of system (11)

$$Y(x, \lambda) = \begin{pmatrix} X(x, \lambda) \\ U(x, \lambda) \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$X(x, \lambda) = \text{diag}(y_1(x, \lambda), y_2(x, \lambda), \dots, y_N(x, \lambda)),$$

$$U(x, \lambda) = \text{diag}(y_1'(x, \lambda), y_2'(x, \lambda), \dots, y_N'(x, \lambda)),$$

where $y_j(x, \lambda) \in H^2(\mathbb{R}^+)$, $j=1, 2, \dots, N$.

Applying Lemma 2.1 in [20] we have for some $\tilde{\eta} > 0$ the asymptotic expansion for $x \rightarrow \infty$ (uniform with respect to λ)

$$Y(x, \lambda) = e^{-\sqrt{\omega - \lambda} x} \left(\begin{pmatrix} I_N \\ -\sqrt{\omega - \lambda} I_N \end{pmatrix} + O(e^{-\tilde{\eta} x}) \right). \quad (14)$$

Then one can define for any $\lambda < \omega$

$$Y_\infty(\lambda) = \lim_{x \rightarrow +\infty} Y(x, \lambda) e^{\sqrt{\omega - \lambda} x} = \begin{pmatrix} I_N \\ -\sqrt{\omega - \lambda} I_N \end{pmatrix}.$$

Theorem 1. For any $w > 0$ and $\alpha \in \mathbb{R}$ there exists a sufficiently large $x_\infty > 0$ such that for $s > x_\infty$ the number of negative eigenvalues $\#(-\infty, 0)$ of (11) with condition (12) is given by

$$\#(-\infty, 0) = N(Z_\beta^{-1} Y(\cdot, 0), [0, s]) = -\sum_{i=0}^{r-1} \mu(Y_i(x, 0), R_i^{-1} J^T \beta) \Big|_{x_i}^{x_{i+1}}, \quad (15)$$

$$Y_i(x, 0) = R_i^{-1} Y_i(x, 0) = (X_i^T(x, 0), U_i^T(x, 0))^T, \quad \det(X_i(x, 0)) \neq 0, x \in [x_i, x_{i+1}], \quad i=0, \dots, r-1,$$

where $Y(x, \lambda)$ is given by (13), (14) and the symplectic matrix Z_β is defined by the boundary conditions in (11) for $x = 0$

$$Z_\beta = \begin{pmatrix} -\beta^T \rho & J^T \beta^T \end{pmatrix}, \quad \rho = (\beta \beta^T)^{-1}, \quad \beta = \begin{bmatrix} A & B \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Proof. The proof of (15) is derived in Theorem 1 of the recent paper [17], where for arbitrary $\lambda_0 < \omega, s > 0$ and for a sufficiently large $\lambda_\infty > 0$ the number of eigenvalues $\#(-\infty, \lambda_0)$ of (11) less than λ_0 is given by

$$\#(-\infty, \lambda_0) = N\left(Z_\beta^{-1}Y(\cdot, \lambda_0), [0, s]\right) - N\left(Z_\beta^{-1}Y(s, \cdot), [-\lambda_\infty, \lambda_0]\right).$$

Moreover, according to Remark 4 in [17], there exists a sufficiently large $x_\infty > 0$ such that for $s > x_\infty$ the oscillation number $N(Z_\beta^{-1}Y(s, \cdot), [-\lambda_\infty, \lambda_0]) = 0$ for $\lambda_0 = 0$.

Now we restrict our consideration of problem (11) to the case, when the edges of the star graph are separated into two groups depending on the form of the potential

$$V_j(x) = \begin{cases} f(x+a), & j=1, 2, \dots, K, \\ f(x-a), & j=K+1, \dots, N, \end{cases} \quad (17)$$

where $a \neq 0$. The potentials in form (17) occur in [9; 10; 14] for the operators $L_\pm$, see (5), (6). According to Theorem 4 in [9], see also Lemma 2.4 in [10], for $\omega > \frac{\alpha^2}{(N-2K)^2}$ the potentials in (5) have the form (6), where

$$\varphi_{j,K}(x) = \begin{cases} \omega^{\frac{1}{2p}} \operatorname{sech}^{\frac{1}{p}}\left(p\sqrt{\omega}(x+a_K)\right), & j=1, 2, \dots, K, \\ \omega^{\frac{1}{2p}} \operatorname{sech}^{\frac{1}{p}}\left(p\sqrt{\omega}(x-a_K)\right), & j=K+1, K+2, \dots, N. \end{cases} \quad (18)$$

$$a_K = \frac{1}{p\sqrt{\omega}} \operatorname{arctanh}\left(\frac{\alpha}{(N-2K)\sqrt{\omega}}\right), \quad (19)$$

(here $\operatorname{sech}(x) = \frac{1}{\cosh(x)} = \frac{2}{e^x + e^{-x}}$). Inside of the one group of the edges the functions $y_j(x, 0)$ in (13) and their derivatives $y'_j(x, 0)$ are the same due to the asymptotic boundary conditions (14). Then we introduce the following notation

$$\begin{aligned} Q_0^2(x, 0) &= \frac{y'_j(x, 0)}{y_j(x, 0)}, \quad Q_1^2(x, 0) = \frac{y_j(x, 0)}{y'_j(x, 0)}, \quad j=1, 2, \dots, K; \\ Q_0^1(x, 0) &= \frac{y'_j(x, 0)}{y_j(x, 0)}, \quad Q_1^2(x, 0) = \frac{y_j(x, 0)}{y'_j(x, 0)}, \quad j=K+1, \dots, N, \end{aligned} \quad (20)$$

provided the functions in (20) exist.

In the following theorem we present the explicit formulas for the oscillation numbers in (15) for problem (11) under the assumption (6), (18).

Theorem 2. Under the assumptions and the notation of Theorem 1 suppose that $\omega > \frac{\alpha^2}{(N-2K)^2}$ and

the potential $V_j(x)$ is given in form (6), (18), i.e. obeys (17) with $K > 0$.

Then for the computation of the oscillation numbers in (15), (16) it is sufficient to consider the following three cases.

For the case

$$y_j(x, 0) \neq 0, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad x \in [x_i, x_{i+1}] \quad (21)$$

for $Y(x, 0)$ in (13) one can put $R_i = I_{2N}$ and evaluate the comparative index in (15)

$$\mu(Y(x, 0), J^T \beta^T) \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} = \text{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \Big|_{x_i}^{x_{i+1}}. \quad (22)$$

For the case

$$\begin{aligned} y_j'(x, 0) &\neq 0, \quad j = 1, 2, \dots, K, \\ y_j(x, 0) &\neq 0, \quad j = K + 1, K + 2, \dots, N, \quad x \in [x_i, x_{i+1}], \\ y_j(x_0, 0) &= 0, \quad x_0 \in (x_i, x_{i+1}), \quad j = 1, 2, \dots, K, \end{aligned} \quad (23)$$

one can choose $R_i = \begin{pmatrix} F & G \\ -G & F \end{pmatrix}$, $G = \text{diag}(I_K, 0_{N-K})$, $F = I_N - G$ and derive

$$\mu(Y_i(x, 0), R_i^{-1} J^T \beta) \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} = \left\{ K \text{ind}(Q_1^2(x, 0)) + \text{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \right\} \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} \quad (24)$$

For the case

$$\begin{aligned} y_j'(x, 0) &\neq 0, \quad j = K + 1, K + 2, \dots, N, \\ y_j(x, 0) &\neq 0, \quad j = 1, 2, \dots, K, \quad x \in [x_i, x_{i+1}], \\ y_j(x_0, 0) &= 0, \quad x_0 \in (x_i, x_{i+1}), \quad j = K + 1, K + 2, \dots, N, \end{aligned} \quad (25)$$

one can choose $R_i = \begin{pmatrix} F & G \\ -G & F \end{pmatrix}$, $F = \text{diag}(I_K, 0_{N-K})$, $G = I_N - F$ and derive

$$\mu(Y_i(x, 0), R_i^{-1} J^T \beta) \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} = \left\{ (N - K) \text{ind}(Q_1^1(x, 0)) + \text{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \right\} \Big|_{x_i}^{x_{i+1}}. \quad (26)$$

Proof. Observe that for $\lambda = 0$ there exist explicit solutions $y_j^\pm(x) \in H^2(\mathbb{R}^+)$, $j = 1, 2, \dots, N$ of the Schrödinger equation in (11) for $V_\pm(x)$ given by (6), (18), (19)

$$y_j^+(x) = \frac{d}{dx} \varphi_{j,K}(x), \quad y_j^-(x) = \varphi_{j,K}(x). \quad (27)$$

The functions in (27) for $\alpha \neq 0$ have at most one zero $x_0 = \pm a_K \neq 0$ on $[0; +\infty)$, then there exists a partition (8), such that on each interval $[x_i, x_{i+1}]$ one of conditions (21), (23), (25) holds, see Section III for more details. The rather technical proof of (22), (24), (26) is postponed to Section IV of this paper.

Remark. Observe that the comparative indices for the case $K = 0$ can be derived from (22) and (24), while (26) does not imply the correct formula for $K = 0$, when conditions (25) transform into $y_j'(x, 0) \neq 0$, $j = 1, 2, \dots, N$. This case is investigated by the authors in [17].

Consider now the case of Kirchhoff boundary conditions in (11), when $\alpha = 0$, $N = 2l$, $K = l$, see

Lemmas 3.1, 3.4 in [14].

For this case the potentials $V_{\pm}(x)$ are given by

$$\begin{aligned} V_+(x) &\equiv (p+1)(2p+1)\phi_j^{2p}(x), \\ V_-(x) &\equiv (p+1)\phi_j^{2p}(x), \quad j=1,2,\dots,N, \end{aligned} \quad (28)$$

where the simplest state $\phi_j(x)$ has the form

$$\phi_j(x) = \begin{cases} \omega^{\frac{1}{2p}} \operatorname{sech}^{\frac{1}{p}}(p\sqrt{\omega}(x+a)), & j=1,2,\dots,l, \\ \omega^{\frac{1}{2p}} \operatorname{sech}^{\frac{1}{p}}(p\sqrt{\omega}(x-a)), & j=l+1,l+2,\dots,2l \end{cases} \quad (29)$$

and the constant is arbitrary (compare with given by (19)).

Corollary 3. Under the assumptions and the notation of Theorem 1 suppose that $\omega > 0$, $\alpha = 0$, $N = 2l$, $K = l > 1$ and the potential is given in form (28), (29).

Then for the computation of the oscillation numbers in (15), (16) it is sufficient to consider the three cases from Theorem 3 and compute the comparative index in (15) according to (22), (24), (26) with $\alpha = 0$, $N = 2l$, $K = l > 1$.

Proof. For the given case for $\lambda = 0$ there exist explicit solutions $y_j^{\pm}(x) \in H^2(\mathbb{R}^+)$, $j=1,2,\dots,N$ of the Schrödinger equation in (11) for $V_{\pm}(x)$ given by (28), (29)

$$y_j^+(x) = \frac{d}{dx} \phi_j(x), \quad y_j^-(x) = \phi_j(x). \quad (30)$$

The functions in (30) for $a \neq 0$ have at most one zero $x_0 = \pm a \neq 0$ on $[0; +\infty)$, then there exists a partition (8), such that on each interval $[x_i, x_{i+1}]$ one of conditions (21), (23), (25) holds, see Section III for more details. Moreover, in the proof of Theorem 3 we did not use (19) for a_K and the restriction $K \leq \left\lfloor \frac{N-1}{2} \right\rfloor$.

Analytic computation of the Morse index

In this section we consider analytic computations of the Morse index under assumptions of Theorem 2 and Corollary 3 in Section II.

Theorem 4. The Morse index for problem (11) for $\omega > \frac{\alpha^2}{(N-2K)^2}$, $\alpha \neq 0$, $K > 0$ with the potential $V_+(x)$ given by (6), (18), (19) is equal $K+1$ for $\alpha < 0$ and $N-K$ for $\alpha > 0$. The Morse index for this problem with the potential $V_-(x)$ is equal to zero.

Proof. Under the assumptions of Theorem 2 according to (27) the functions in (22), (24), (26) are $Q_0^i(x,0)$, $Q_1^i(x,0)$, $i=1,2$ given by

$$Q_0^i(x,0) = -\sqrt{\omega} \frac{(p+1) \tanh^2(p\sqrt{\omega}(x+(-1)^i a_K)) - p}{\tanh(p\sqrt{\omega}(x-a_K))}, \quad Q_1^i(x,0) = 1 / Q_0^i(x,0), \quad i=1,2. \quad (31)$$

Recall that by (20) the case $i=1$ is associated with $j=K+1,\dots,N$ while $i=2$ holds for $j=1,2,\dots,K$.

A. The case $\alpha < 0$

For this case we have $a_K < 0$, then the graph of $Q_0^1(x,0)$ does not have vertical asymptotes for

$x \geq 0$. The function $Q_0^2(x, 0)$, $a_K < 0$ has the vertical asymptote $x = -a_K$ and strictly decreasing on $[0, -a_K) \cup (-a_K, s]$.

One can define the partition (8) of $[0, s]$:

$$0 = x_0 < x_1 < x_2 < x_3 = s$$

with $x_1 < -a_K < x_2$ and apply (22) for $[x_0; x_1]$, $[x_2; x_3]$ and (24) for $[x_1; x_2]$, where x_1, x_2 are chosen sufficiently close to $-a_K$ such that condition $y_j'(x, 0) \neq 0$, $j = 1, 2, \dots, K$, $x \in [x_1, x_2]$ in (23) is satisfied. Observe that due to the condition $y_j(-a_K, 0) = 0$, $j = 1, 2, \dots, K$ we have $y_j'(-a_K, 0) \neq 0$, $j = 1, 2, \dots, K$, then such x_1, x_2 do exist. Then the Morse index in (15) is given by

$$\begin{aligned} \#(-\infty, 0) = N(Z_\beta^{-1}Y(\cdot, 0), [0, s]) = & -\text{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \Big|_0^{x_1} - K \text{ind}(Q_1^2(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} - \\ & -\text{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} - \text{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \Big|_{x_2}^s, \quad s \geq x_\infty \end{aligned}$$

or cancelling the same substitutions we have for $s \geq x_\infty$

$$\#(-\infty, 0) = -K \text{ind}(Q_1^2(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} - \text{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \Big|_0^s. \quad (32)$$

By (14) $Q_0^1(s, 0) \approx -\sqrt{w}$ and $Q_0^2(s, 0) \approx -\sqrt{w}$ for a sufficiently large x_∞ , then

$$\alpha - KQ_0^2(s, 0) - (N - K)Q_0^1(s, 0) \approx \alpha + K\sqrt{w} + (N - K)\sqrt{w} = \alpha + N\sqrt{w} > 0$$

due to the condition $\omega > \frac{\alpha^2}{(N - 2K)^2} \geq \frac{\alpha^2}{N^2}$, $K \geq 0$. We see that

$$\text{ind}(\alpha - KQ_0^2(s, 0) - (N - K)Q_0^1(s, 0)) = 0, \quad s \geq x_\infty.$$

We also have

$$\alpha - KQ_0^2(0) - (N - K)Q_0^1(0) = \alpha - KQ_0^2(0, 0) - (N - K)Q_0^1(0, 0) = (N - 2K)^2 \frac{P}{\alpha} \left(w - \frac{\alpha^2}{(N - 2K)^2} \right) < 0 \quad (33)$$

for $\alpha < 0$ by the main assumption $\omega > \frac{\alpha^2}{(N - 2K)^2}$. Then the second addend in (32) is equal to 1.

Finally, for $[x_1; x_2]$, where x_1, x_2 are chosen sufficiently close to $-a_K$ we have $Q_1^2(x_2, 0) > 0$, $Q_1^2(x_1, 0) < 0$, then by (24) $-K \text{ind}(Q_1^2(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} = K$ and then by (32) we derive the Morse index $\#(-\infty, 0) = K + 1$.

B. The case $\alpha > 0$.

For this case we replace the roles of $Q_0^2(x, 0)$ and $Q_0^1(x, 0)$. Indeed, we have $a_K > 0$, then the graph of $Q_0^2(x, 0)$ does not have vertical asymptotes for $x \geq 0$. The function $Q_0^1(x, 0)$, $a_K > 0$ has the vertical asymptote $x = a_K$ and strictly decreasing on $[0, a_K) \cup (a_K, s]$. One can define the partition of $[0, s]$: $0 = x_0 < x_1 < x_2 < x_3 = s$ with $x_1 < a_K < x_2$ and apply (22) for $[x_0, x_1]$, $[x_2, x_3]$ and (26) for $[x_1, x_2]$. By analogy with Case A we have instead of (32)

$$\#(-\infty, 0) = (N - K) \operatorname{ind}(Q_1^1(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} - \operatorname{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \Big|_0^s, \quad (34)$$

where $\operatorname{ind}(\alpha - KQ_0^2(s, 0) - (N - K)Q_0^1(s, 0)) = 0, s \geq x_\infty$ and instead of (33)

$$\alpha - KQ_0^2(0) - (N - K)Q_0^1(0) = \alpha - KQ_0^2(0, 0) - (N - K)Q_0^1(0, 0) = (N - 2K)^2 \frac{p}{\alpha} \left(w - \frac{\alpha^2}{(N - 2K)^2} \right) > 0$$

for $\alpha > 0$ by the main assumption $\omega > \frac{\alpha^2}{(N - 2K)^2}$. Then now the second addend in (34) is equal to zero.

Finally, for $[x_1, x_2]$, where x_1, x_2 are chosen sufficiently close to a_K we have $Q_1^1(x_2, 0) > 0, Q_1^1(x_1, 0) < 0$, then by (26) the first addend in (34) is equal to $(N - K) \operatorname{ind}(Q_1^1(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} = N - K$. Then the Morse index $\#(-\infty, 0) = N - K$.

C. The case of the potential $V_-(x)$

Consider the evaluation of the Morse index for the potential $V_-(x)$. The functions $Q_0^i(x, 0), Q_1^i(x, 0)$ in (22), (24), (26) are given by

$$Q_0^i(x, 0) = -\sqrt{\omega} \tanh(p\sqrt{\omega}(x + (-1)^i a_K)), \quad Q_1^i(x, 0) = 1 / Q_0^i(x, 0). \quad (35)$$

We see that for the cases $\alpha < 0, \alpha > 0$ one can use (22)

$$\#(-\infty, 0) = -\operatorname{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)) \Big|_0^s, \quad s \geq x_\infty,$$

where $\operatorname{ind}(\alpha - KQ_0^2(s, 0) - (N - K)Q_0^1(s, 0)) = 0, s \geq x_\infty$ for a sufficiently large x_∞ (we argue as in Case A). By (19) we have $Q_0^i(0, 0) = (-1)^{i+1} \frac{\alpha}{(N - 2K)}$, then $\alpha - KQ_0^2(0, 0) - (N - K)Q_0^1(0, 0) = 0$ and the Morse index for all $\alpha < 0, \alpha > 0, K > 0$ is equal to zero.

Theorem 5. The Morse index for problem (11) for $\omega > 0, \alpha = 0, N = 2l, K = l$ with the potential $V_+(x)$ given by (28), (29) with $a \neq 0$ is equal l . The Morse index for this problem with the potential $V_-(x)$ is equal to zero.

Proof. The functions $Q_0^i(x, 0), Q_1^i(x, 0), i = 1, 2$ in (22), (24), (26) in this case are given by (31), where a_K should be replaced by $a \in \mathbb{R}$ and the case $i = 1$ is associated with $j = l + 1, \dots, 2l$ while $i = 2$ holds for $j = 1, 2, \dots, l$.

A. The case $a < 0$

This case is analogous to case A in the proof of Theorem 4. For $a < 0$ the graph of $Q_0^1(x)$ does not have vertical asymptotes for $x \geq 0$. The function $Q_0^2(x, 0), a < 0$ has the vertical asymptote $x = -a$ and strictly decreasing on $[0, -a) \cup (-a, s]$. By analogy with the case A in the proof of Theorem 4 we introduce the partition of $[0, s]$: $0 = x_0 < x_1 < x_2 < x_3 = s$ with $x_1 < -a < x_2$ and apply (22) for $[x_0, x_1], [x_2, x_3]$ and (24) for $[x_1, x_2]$. Instead of (32) we have

$$\#(-\infty, 0) = -l \operatorname{ind}(Q_1^2(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} - \operatorname{ind}(-lQ_0^2(x, 0) - lQ_0^1(x, 0)) \Big|_0^s,$$

where $Q_0^1(s, 0) \approx -\sqrt{w}$ and $Q_0^2(s, 0) \approx -\sqrt{\omega}$ by (14), then

$$-lQ_0^2(s, 0) - (2l - l)Q_0^1(s, 0) \approx l\sqrt{w} + l\sqrt{w} = 2l\sqrt{w} > 0$$

for a sufficiently large x_∞ . We see that $\operatorname{ind}(-lQ_0^2(s, 0) - lQ_0^1(s, 0)) = 0, s \geq x_\infty$.

We also have instead of (33) that

$$\alpha - KQ_0^2(0) - (N - K)Q_0^1(0) = -lQ_0^2(0, 0) - lQ_0^1(0, 0) = 0 \quad (36)$$

because the function in the right-hand side of (31) is odd for $x = 0$ (with respect to $a \in \mathbb{R}$). We see that $-\text{ind}(-lQ_0^2(x, 0) - lQ_0^1(x, 0)) \Big|_0^s = 0$.

Finally, for $[x_1, x_2]$, where x_1, x_2 are chosen sufficiently close to $-a$ we have $Q_1^2(x_2, 0) > 0$, $Q_1^2(x_1, 0) < 0$, then by (24) $-l \text{ind}(Q_1^2(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} = l$ and the Morse index is equal $\#(-\infty, 0) = l$.

B. The case $a > 0$

This case is similar to case B in the proof of Theorem 4, instead of (34) we have

$$\#(-\infty, 0) = -l \text{ind}(Q_1^1(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} - \text{ind}(-lQ_0^2(x, 0) - lQ_0^1(x, 0)) \Big|_0^s,$$

where by (36) $-\text{ind}(-lQ_0^2(x, 0) - lQ_0^1(x, 0)) \Big|_0^s = 0$ and $(2l - l) \text{ind}(Q_1^1(x, 0)) \Big|_{x_1}^{x_2} = l$.

Then the Morse index $\#(-\infty, 0) = l$.

C. The case of the potential $V_-(x)$

This case is completely analogous to case C of Theorem 4. We use $Q_0^i(x, 0), Q_1^i(x, 0), i = 1, 2$ given by (35), where a_K should be replaced by $a \in \mathbb{R}$. We see that for the cases $a < 0, a > 0$ one can use (22)

$$\#(-\infty, 0) = -\text{ind}(-lQ_0^2(x, 0) - lQ_0^1(x, 0)) \Big|_0^s, \quad s \geq x_\infty,$$

where $\text{ind}(\alpha - KQ_0^2(s, 0) - (N - K)Q_0^1(s, 0)) = 0, s \geq x_\infty$ for a sufficiently large x_∞ and $-lQ_0^2(0, 0) - lQ_0^1(0, 0) = 0$ because the function in the right-hand side of (35) is odd for $x = 0$. Then the Morse index for all $a < 0, a > 0$ is equal to zero. The proof is completed.

Proof. In this section we present the proof of Theorem 3. We use the notation $\mathbf{1}_p, \mathbf{0}_p$ for unit and zero vector-columns dimension p and denote by $I_p, 0_p$ the $p \times p$ identity and zero matrices.

For the convenience we use the transformation with the nonsingular matrix

$$T = \text{diag}(T_1, 1), T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 0 & 1 & \cdots & 1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

and consider the transformed matrices in the boundary conditions (11) at $x = 0$

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} I_{N-1} & -\mathbf{1}_{N-1} \\ \mathbf{0}_{N-1}^T & -\alpha \end{pmatrix} = TA, \quad \tilde{B} = TB = B. \quad (37)$$

In the proof we use the definition of the comparative index given by (9).

Observe that the matrix w in (9) is the same for all three cases in Theorem 3 because of the invariant property $(RY_1)^T J(RY_2) = Y_1^T R^T JRY_2 = Y_1^T JY_2$ for an arbitrary symplectic matrix R . Then we have

$$w^T = \left(Y^T(x, 0) J J^T \beta^T \right)^T = \beta Y(x, 0) = \tilde{A}X(x, 0) + \tilde{B}U(x, 0), \quad (38)$$

where $\tilde{A}, \tilde{B}, Y(x, 0)$ are given by (37) and (13). Then for the first case we have that the matrices $Q_0^i, i = 1, 2$ given by (20) are well-defined and by (9) we have the formula

$$\mu(Y(x, 0), J^T \beta^T) \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} = \text{ind} \left(-\tilde{A} \tilde{B}^T - \tilde{B} \text{diag} \left(Q_0^2(x, 0) I_K, Q_0^1(x, 0) I_{N-K} \right) \tilde{B}^T \right) \Big|_{x_i}^{x_{i+1}},$$

which coincides with (22) after the substitution of $\tilde{A}, \tilde{B}$ in (37).

Consider the proof of (24). For this case the upper blocks of $Y_1 = Y_i(x, 0), Y_2 = R_i^{-1} J^T \beta$ have the form

$$X_1 = \text{diag}(y'_1(x, 0), y'_2(x, 0), \dots, y'_K(x, 0), y_{K+1}(x, 0), y_{K+2}(x, 0), \dots, y_N(x, 0)),$$

$$X_2 = \begin{pmatrix} \text{diag}(I_K, 0_{N-K-1}) & \mathbf{c} \\ \mathbf{0}_{N-1}^T & -1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{c} = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_K \\ -\mathbf{1}_{N-K-1} \end{pmatrix},$$

then by (9)

$$w^T X_1^{-1} X_2 = \begin{pmatrix} Q_1^2(x, 0) \text{diag}(I_K, 0_{N-K-1}) & \mathbf{d} \\ \mathbf{d} & \alpha - (N-K) Q_0^1(x, 0) \end{pmatrix}, \quad \mathbf{d} = \begin{pmatrix} \mathbf{1}_K \\ \mathbf{0}_{N-K-1} \end{pmatrix}.$$

Deleting $N - K - 1$ zero rows and columns we derive

$$\mu(R_i^{-1} Y(x, 0), R_i^{-1} J^T \beta^T) = \text{ind} \begin{pmatrix} Q_1^2(x, 0) I_K & \mathbf{1}_K \\ \mathbf{1}_K^T & \alpha - (N-K) Q_0^1(x, 0) \end{pmatrix}. \quad (39)$$

For $K > 0$ we derive from (39)

$$\mu(R_i^{-1} Y(x, 0), R_i^{-1} J^T \beta^T) = \begin{cases} 1, & Q_1^2(x, 0) = 0, \\ \text{ind}(\alpha - (N-K) Q_0^1(x, 0) - K Q_0^2(x, 0)), & Q_1^2(x, 0) \neq 0, \end{cases} \quad (40)$$

where we use that $Q_0^2(x, 0) = \frac{1}{Q_1^2(x, 0)}$ according to (20) and the formula

$$\text{ind} \begin{pmatrix} D & F \\ F^T & C \end{pmatrix} = \text{ind}(D) + \text{ind}(C - F^T D^{-1} F).$$

Observe also that the first case in (40) is excluded for $x = x_l, l = i, i+1$ by the assumption $x_0 \in (x_i, x_{i+1})$ in (23).

Consider the proof of (26). We use the previous proof reordering the components of $Y(x, 0)$ in (13) such that

$$\tilde{X}(x, 0) = \text{diag}(y_{K+1}(x, 0), y_{K+2}(x, 0), \dots, y_N(x, 0), y_1(x, 0), y_2(x, 0), \dots, y_K(x, 0)),$$

$$\tilde{U}(x, 0) = \text{diag}(y'_{K+1}(x, 0), y'_{K+2}(x, 0), \dots, y'_N(x, 0), y'_1(x, 0), y'_2(x, 0), \dots, y'_K(x, 0)),$$

then by the continuity conditions in (2), $\tilde{Y}(x, 0)$ obeys the boundary conditions with the same matrices A, B in (11) and then with the same $\tilde{A}, \tilde{B}$ in (37). Moreover, the transformation matrix R_i will have the

blocks $\tilde{F} = \text{diag}(0_{N-K}, I_K)$, $\tilde{G} = I_N - \tilde{F}$ which coincide with the blocks of the transformation matrix for the case (23) (up to dimensions of the zero and identity matrices). Finally, replacing the notations according to (20) and interchanging the roles of K and $N - K$ one can apply (24) to the case (25) and derive instead of (39)

$$\mu(R_i^{-1}Y(x, 0), R_i^{-1}J^T\beta^T) = \text{ind} \begin{pmatrix} Q_1^1(x, 0)I_{N-K} & \mathbf{1}_{N-K} \\ \mathbf{1}_{N-K}^T & \alpha - KQ_0^2(x, 0) \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{cases} 1, & Q_1^1(x, 0) = 0, \\ (N - K)\text{ind}(Q_1^1(x, 0)) + \text{ind}(\alpha - KQ_0^2(x, 0) - (N - K)Q_0^1(x, 0)), & Q_1^1(x, 0) \neq 0. \end{cases}$$

Observe that the first case in the previous formula is excluded for $x = x_l, l = i, i + 1$ by the assumption $x_0 \in (x_i, x_{i+1})$ in (25). The proof of (26) is completed.

Conclusion

In this paper we proposed the new method for calculating the Morse index (the number of negative eigenvalues) for the linear Schrödinger equation on a noncompact star graph with Robin and Kirchhoff boundary conditions arising in investigations of spectral and orbital instability of ground states of an associated nonlinear Schrödinger equation with the positive power nonlinearity. The results of Section III (Theorems 4, 5) are in the complete agreement with the similar results in [9; 10; 14], where according to Theorem 3.2 in [10] for $\alpha < 0, K \geq 1$ and for $\alpha > 0, K \geq 0$ all standing waves $e^{i\omega t} \varphi_{j,K}(x)$ for (1), (2) are spectrally (and then orbitally) unstable. By Corollary 4.3 in [14] the shifted states with $a \neq 0, N = 2l > 2$ are spectrally unstable. Both results in [10; 14] are based on the computation of the Morse indexes, but the method of the computing uses determinant equations for all $\lambda \leq 0$. The approach based on the oscillation numbers (or the Maslov index) lead to investigation of $Y(x, \lambda)$ for $\lambda = 0$ only. Moreover, the proposed method can be implemented numerically, see [17]. In numerical implementations one can use other stable symplectic transformations R_i of the Lagrangian path, in particular, the trigonometric transformations considered in [15; 16]. We conjecture that the proposed method can be applied to self-adjoint boundary value problems for other types of quantum graphs and the corresponding boundary conditions. In particular, the method with minor modifications can be generalized to calculate the Morse index for problems with the generalized Kirchhoff boundary conditions [14].

References

1. Bose, A. Stability of the in-phase travelling wave solution in a pair of coupled nerve fibers / A. Bose, C.K.R.T. Jones // *Indiana Univ. Math. J.* – 1995. – Vol. 44(1). – P. 189–220.
2. Chen, C.N. Maslov index for homoclinic orbits of Hamiltonian systems / C.N. Chen, X. Hu // *Ann. Inst. H. Poincaré C Anal. Non Linéaire.* – 2007. – Vol. 24(4). – P. 589–603.
3. Chardard, F. Computing the Maslov index of solitary waves. I. Hamiltonian systems on a four-dimensional phase space / F. Chardard, F. Dias, T.J. Bridges // *Physica D: Nonlinear Phenomena* – 2009. – Vol. 238(18). – P. 1841–1867. – DOI: 10.1016/j.physd.2009.05.008. – EDN: MYPBZR.
4. Cornwell, P. Opening the Maslov box for traveling waves in skew-gradient systems: counting eigenvalues and proving (in)stability / P. Cornwell // *Indiana Univ. Math. J.* – 2019. – Vol. 68(6). – P. 1801–1832.
5. Beck, M. An introduction to recent applications of the Maslov index in dynamical systems and PDEs / M. Beck // *Joint Mathematics Meetings (JMM 2023)*, 2023.
6. Elyseeva, J.V. Oscillation theorems for linear Hamiltonian systems with nonlinear dependence on the spectral parameter and the comparative index / J.V. Elyseeva // *Applied Mathematics Letters.* – 2019. – Vol. 90. – P. 15–22. – DOI: 10.1016/j.aml.2018.10.007. – EDN: IRKVBj.
7. Elyseeva, J. Oscillation numbers for continuous Lagrangian paths and Maslov index / J. Elysee-

- va, P. Šepitka, R. Šimon Hilscher // *Journal of Dynamics and Differential Equations*. – 2023. – Vol. 35. – P. 2589–2620. – DOI: 10.1007/s10884-022-10140-7. – EDN: QHBLNB.
8. Elyseeva, J. Oscillation theorems for linear Hamiltonian systems with nonlinear dependence on the spectral parameter and separated boundary conditions / J. Elyseeva, N. Rogozina // *Applied Mathematics Letters*. – 2026. – Vol. 173. – Art. 109740.
9. Adami, R. Variational properties and orbital stability of standing waves for NLS equation on star graphs / R. Adami, C. Cacciapuoti, D. Finco, D. Noja // *Journal of Differential Equations*. – 2014. – Vol. 257. – P. 3738–3777. – DOI: 10.1016/j.jde.2014.07.008. – EDN: XOXXLF.
10. Kairzhan, A. Orbital instability of standing waves for NLS equation on star graphs / A. Kairzhan // *Proceedings of the American Mathematical Society*. – 2019. – Vol. 147. – Iss. 7. – P. 2911–2924. – DOI: 10.1090/proc/14463. – EDN: CFMFSP.
11. Kairzhan, A. Nonlinear instability of half-solitons on star graphs / A. Kairzhan, D. Pelinkovsky // *J. Differential Equations*. – 2018. – Vol. 264. – P. 7357–7383.
12. Lorenzo, M. On Bose-Einstein condensation in Josephson junctions star graph arrays / M. Lorenzo // *Physics Letters A*. – 2014. – Vol. 378. – P. 655–658. – DOI: 10.1016/j.physleta.2013.12.032. – EDN: YCGOQC.
13. Noja, D. Nonlinear Schrödinger equation on graphs: recent results and open problems / D. Noja // *Philosophical Transactions A*. – 2014. – Vol. 372. – Art. 20130002.
14. Kairzhan, A. Spectral stability of shifted states on star graphs / A. Kairzhan, D. Pelinkovsky // *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*. – 2018. – Vol. 51(9). – P. 5203. – DOI: 10.1088/1751-8121/aaa89f. – EDN: SEHLKT.
15. Abramov, A.A. On the computation of the eigenvalues of a nonlinear spectral problem for Hamiltonian systems of ordinary differential equations / A.A. Abramov // *Comput. Math. Math. Phys.* – 2001. – Vol. 41(1). – P. 27–36.
16. Abramov, A.A. A modification of one method for solving nonlinear self-adjoint eigenvalue problems for Hamiltonian systems of ordinary differential equations / A.A. Abramov // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. – 2011. – Vol. 51(1). – P. 35–39. – DOI: 10.1134/S0965542511010015. – EDN: OHZQST.
17. Rogozina, N.G. Fast computation of Morse Index for Schrödinger equation on Star graph / N.G. Rogozina, J.V. Elyseeva, 2026, in press.
18. Eliseeva, Yu. Comparative index for solutions of symplectic difference systems / Yu. Eliseeva (J. Elyseeva) // *Differ. Equ.* – 2009. – Vol. 45. – P. 445–459.
19. Berkolaiko, G. Introduction to quantum graphs / G. Berkolaiko, P. Kuchment // *Mathematical Surveys and Monographs* 186, AMS, Providence, RI, 2013.
20. Howard, P. The Maslov and Morse indices for Sturm-Liouville systems on the half-line / P. Howard, A. Sukhtayev // *Discrete and continuous dynamical systems*. – 2020. – Vol. 40. – No. 2. – P. 983–1012. – DOI: 10.3934/dcds.2020068. – EDN: QEZUFQ.

СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ФЛЮИДНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ, КОНВЕКТОРОМ И РАДИАТОРОМ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ

В.М. ФОКИН¹, С.В. НЕСТЕРЕНКО², А.Д. ЛЕГКИЙ¹, Д.Г. УСАДСКИЙ¹

¹ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,

² ООО «Волгограднефтепроект»,

г. Волгоград

Ключевые слова и фразы: система теплоснабжения; флюидный теплоноситель; радиатор воздушного отопления; конвектор; энергоаудит.

Аннотация: В статье приводится устройство экспериментальной установки для изучения, исследования, проведения энергетического обследования и энергоаудита системы теплоснабжения с флюидным теплоносителем, пластинчатым теплообменником, радиатором воздушного отопления с вентилятором и отопительным конвектором. Цель: разработка экспериментальной установки для изучения системы теплоснабжения и теплообменных аппаратов с флюидным теплоносителем. Задачи: разработка методик энергетического аудита пластинчатого теплообменника, радиатора воздушного отопления и конвектора. Гипотеза: повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения и теплообменных аппаратов. Метод исследования: математический и физический эксперимент. Достигнутый результат: разработка устройств и методик для исследования теплообменных аппаратов с флюидным теплоносителем.

Эргономика среды, эргономические показатели теплозащитных материалов, физиология человека, чаще всего включают температурные, акустические и световые ощущения. Комфортные условия пребывания человека в окружающей его среде обеспечиваются определенными теплоизоляционными, звукоизоляционными, теплозащитными и светозащитными материалами. Наиболее эффективными изоляторами для звукоизоляции и термоизоляции могут служить органические пористые теплоизоляционные и звукоизоляционные материалы, имеющие определенные тепло-звукофизические свойства.

Государственными органами постоянно ставятся задачи повышения энергетической эффективности тепловых и энергетических установок. В частности, многоконтурные флюидные системы теплоснабжения применяются для теплоэнергетических систем теплоснабжения объектов нефтегазоконденсатных месторождений, где широкое применение имеют теплоносители из группы антифризы «этиленгликоль», теплоносители из группы органических «глицерин», из группы солевых рассолов «ацетат на-

трия 8 %».

Флюиды для систем теплоснабжения – это совокупность жидкостей и растворов, насыщенных газами, обладающих уникальной энергетикой и магнетизмом. Каждый флюид располагает своими теплофизическими свойствами, такими как плотность, вязкость, давление, температура, теплоемкость.

Системы теплоснабжения с флюидным теплоносителем и радиатором воздушного отопления или конвектором имеют два контура циркуляции: первый – с теплогенератором, заполненным водой, а второй контур – с радиатором воздушного отопления или конвектором, заполненным флюидом.

Оценка энергетической эффективности преобразования тепловой энергии и КПД радиатора воздушного отопления проводится на разработанной авторами экспериментальной установке, приведенной на рис. 1.

Оценка энергетической эффективности преобразования тепловой энергии и КПД отопительного конвектора проводится на разработанной авторами экспериментальной установке,

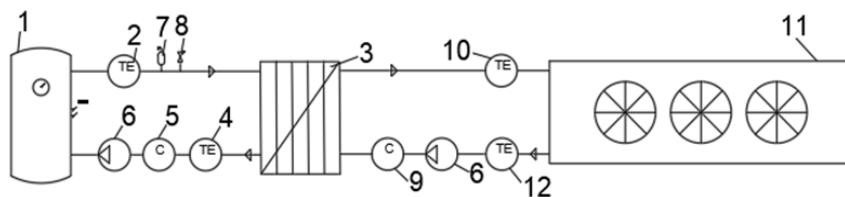


Рис. 1. Схема устройства для исследования и проведения энергетического аудита радиатора воздушного отопления с вентилятором:

1 – теплогенератор, 2 – термометр подающей горячей воды первого контура циркуляции, 3 – пластинчатый теплообменник, 4 – термометр обратной воды первого контура, 5 – расходомер первого контура циркуляции, 6 – циркуляционный насос первого контура циркуляции, 7 – воздухоотборник, 8 – предохранительный клапан, 9 – расходомер второго контура циркуляции, 10 – термометр нагретого флюида второго контура циркуляции, 11 – радиатор воздушного отопления с вентилятором, 12 – термометр охлажденного флюида второго контура циркуляции

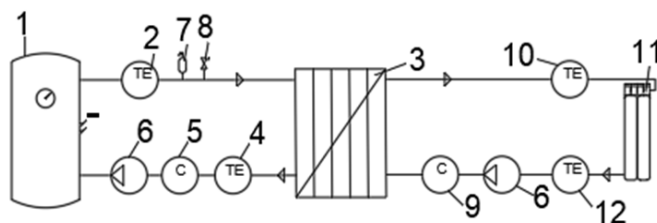


Рис. 2 Схема устройства для исследования и проведения энергетического аудита конвектора отопления:

1 – теплогенератор, 2 – термометр подающей горячей воды первого контура циркуляции, 3 – пластинчатый теплообменник, 4 – термометр обратной воды первого контура, 5 – расходомер первого контура циркуляции, 6 – циркуляционный насос первого контура циркуляции, 7 – воздухоотборник, 8 – предохранительный клапан, 9 – расходомер второго контура циркуляции, 10 – термометр нагретого флюида второго контура циркуляции, 11 – радиатор отопления (конвектор), 12 – термометр охлажденного флюида второго контура циркуляции

приведенной на рис. 2.

Разработанные научно-экспериментальные установки (рис. 1 и 2) предназначены для сравнительного анализа и окончательного решения по выбору теплообменных аппаратов различного назначения, теплотехнического оборудования и приборов, а также жидкого теплоносителя «флюида», используемых в многоконтурных флюидных системах теплоснабжения. Полученные результаты обследования позволят повысить универсальность экспериментальной установки за счет одновременного изучения энергетической эффективности систем теплоснабжения, а также сравнивать эффективность различных типов теплообменных аппаратов и теплоносителей для флюидных многоконтурных систем теплоснабжения.

Оба устройства (рис. 1 и 2) включают в себя основные элементы: электрический водонагреватель (теплогенератор), воздухоотборник, предохранительный клапан с манометром, цир-

куляционные насосы, термометры, расходомеры, радиатор воздушного отопления с вентилятором или конвектор, трубопроводы системы теплоснабжения и другое оборудование.

В качестве теплогенерирующей установки использован проточный электрический водонагреватель с позиционным регулятором температуры и автоматическим регулятором температуры.

Температура теплоносителей (воды и флюида) на входе и выходе теплогенератора, а также давление в системе контролируются датчиками температуры и давления. Безопасность работы обеспечивают автоматические выключатели и приборы безопасности.

Передача тепловой энергии между контурами циркуляции осуществляется через пластинчатые противоточные рекуперативные теплообменные аппараты (пластинчатый теплообменник). Температура на входе и выходе теплообменного аппарата (со стороны первого и

второго контуров) контролируется датчиками температуры. Работа двухконтурной системы теплоснабжения представлена на рис. 1 и 2.

Первый контур – тепловая сеть, заполненная водой.

В электрический котел 1 из обратного трубопровода теплосети циркуляционным насосом 6 подается обратная сетевая вода с температурой t_C , где нагревается в котле до температуры t_C , откуда поступает в подающий трубопровод теплосети. Нагретая вода из тепловой сети переходит в пластинчатый теплообменник 3, где передает свою теплоту воде второго контура.

Охлажденная вода из теплообменника 3 поступает в обратный трубопровод тепловой сети с температурой t_C . По показанию расходомера 5 первого контура циркуляции определяется расход воды в системе теплоснабжения ГСТ. Воздухосборник 7 и предохранительный клапан 8 контролируют и обеспечивают надежную работу системы теплоснабжения.

Второй контур – система, заполненная флюидом для радиатора воздушного отопления или конвектора отопления.

Флюид с температурой $t_{ХФ}$ подается в пластинчатый теплообменник 3, где нагревается сетевой водой первого контура до температуры $t_{ГФ}$ и нагретый поступает в радиатор воздушного отопления (рис. 1) или конвектор (рис. 2). По показанию расходомера флюида 9 второго контура циркуляции определяется расход флюида в системе ГФ.

Разработанные в статье устройства и методики проведения энергоаудита для системы теплоснабжения с флюидным теплоносителем

позволяют провести оценку теплотехнических параметров приборов и энергетической эффективности преобразования тепловой энергии, а также КПД радиатора воздушного отопления и конвектора.

Экспериментальные установки (рис. 1 и рис. 2) позволяют проводить энергетический аудит теплообменных аппаратов, а также систем теплоснабжения контуров циркуляции, заполненных водой или флюидом.

Дополнительно для второго контура циркуляции и радиатора системы воздушного отопления 11 (рис. 1), с использованием дутьевого вентилятора, проводятся исследования:

- расхода воздуха и площади радиатора воздушного отопления;
- теплового потока от теплоносителя (флюида) к воздуху;
- КПД радиатора системы воздушного отопления.

Дополнительно для второго контура циркуляции и отопительного радиатора (конвектора 11) (рис. 2), проводятся исследования:

- удельного теплового потока от нагретой поверхности радиатора (конвектора) к наружному воздуху;
- площади радиатора (конвектора) 11;
- КПД радиатора системы отопления (конвектора).

Дополнительно на экспериментальной установке (рис. 1 и 2) проводятся исследования удельного теплового потока от трубопроводов и теплогенератора к наружному воздуху и определение КПД контуров циркуляции.

Исследованию данных вопросов посвящены следующие работы авторов [1–7].

Литература

1. Фокин, В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин. – М. : Машиностроение-1, 2006. – ISBN: 5-94275-279-6. – EDN: QMJGGF.
2. Фокин, В.М. Экспериментальная установка для проведения энергоаудита теплоэнергетической системы теплоснабжения / В.М. Фокин, С.В. Нестеренко, А.В. Ковылин, И.В. Стефаненко, В.В. Федоров // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 2(197). – С. 67–71. – EDN: VLUPNL.
3. Нестеренко, С.В. Исследование энергетического потенциала флюидных скважин для систем теплоснабжения / С.В. Нестеренко, В.М. Фокин, В.В. Федоров // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 3(198). – С. 132–135. – EDN: XMIATV.
4. Карапузова, Н.Ю. Температурное поле в пластине при конвективном симметричном охлаждении / Н.Ю. Карапузова, В.М. Фокин, А.А. Чеботарев, В.И. Карапузов // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 2(197). – С. 144–148. – EDN: NWXMZK.
5. Карапузова, Н.Ю. Исследование теплопроводности теплоизоляционных органических пористых материалов методом математического эксперимента / Н.Ю. Карапузова, В.М. Фокин,

А.А. Чеботарев, В.И. Карапузов // Components of Scientific and Technological Progress. – 2026. – № 1(115). – С. 12–20. – EDN: NVYVDA.

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. – EDN: UCZUML.

7. 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. – EDN: RFOSIU.

References

1. Fokin, V.M. Osnovy energosberezheniya i energoaudita / V.M. Fokin. – M. : Mashinostroenie-1, 2006. – ISBN: 5-94275-279-6. – EDN: QMJGGF.

2. Fokin, V.M. Eksperimentalnaya ustanovka dlya provedeniya energoaudita teploenergeticheskoy sistemy teplosnabzheniya / V.M. Fokin, S.V. Nesterenko, A.V. Kovylin, I.V. Stefanenko, V.V. Fedorov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 2(197). – S. 67–71. – EDN: VLUPNL.

3. Nesterenko, S.V. Issledovanie energeticheskogo potentsiala flyuidnykh skvazhin dlya sistem teplosnabzheniya / S.V. Nesterenko, V.M. Fokin, V.V. Fedorov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 3(198). – S. 132–135. – EDN: XMIATV.

4. Karapuzova, N.YU. Temperaturnoe pole v plastine pri konvektivnom simmetrichnom okhlazhdenii / N.YU. Karapuzova, V.M. Fokin, A.A. CHEbotarev, V.I. Karapuzov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 2(197). – S. 144–148. – EDN: NWXMZK.

5. Karapuzova, N.YU. Issledovanie teploprovodnosti teploizolyatsionnykh organicheskikh poristyykh materialov metodom matematicheskogo eksperimenta / N.YU. Karapuzova, V.M. Fokin, A.A. CHEbotarev, V.I. Karapuzov // Somponents of Scientific and Technological Progress. – 2026. – № 1(115). – S. 12–20. – EDN: NVYVDA.

6. Ivanov, V.N. Vliyanie parametrov klimata na ekspluatatsiyu sistem teploobespecheniya zdaniy / V.N. Ivanov, A.N. Kolodeznikova // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2021. – № 11(146). – S. 90–93. – EDN: UCZUML.

7. Budikin, A.E. Tekhnicheskie resheniya po ustrojstvu sistem otopeniya i osnovnye ekspluatatsionnye problemy v maloetazhnykh zhilykh zdaniyakh v Arkticheskoy polose Respubliki Sakha (YAkutiya) / A.E. Budikin, E.G. Slobodchikov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 12(90). – S. 14–18. – EDN: RFOSIU.

© В.М. Фокин, С.В. Нестеренко, А.Д. Легкий, Д.Г. Усадский, 2026

МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО РАСЧЕТА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕМОНТА ПОВРЕЖДЕННЫХ ВЗРЫВОМ ЗДАНИЙ

С.С. КОРОСТЕЛЕВ¹, А.А. ЛАПИДУС², А.А. РУДЕНКО³

¹ ООО «КНХИиСК Севен», п. Усть-Луга, Ленинградская обл.;

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет», г. Москва;

³ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: комплексная оценка; надежность ремонта; повреждение зданий.

Аннотация: В статье рассматривается выбор наиболее значимых факторов, влияющих на эффективность организационно-технологической надежности (ОТН) ремонта поврежденных взрывом зданий. Цель исследования – выбор наиболее значимых факторов, влияющих на ОТН ремонта зданий и разработка метода расчета ОТН. Задачи исследования: регрессионная оценка значимости факторов и разработка метода комплексного расчета ОТН. Научная гипотеза исследования заключается в предположении, что расчет ОТН следует производить с учетом комплекса факторов, влияющих на продолжительность, качество работ и сметную стоимость восстановления.

Методы исследования – анализ, синтез, индукция, дедукция, прогнозное моделирование. По результатам проведенного исследования определено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на ОТН являются: качество организации работ; соблюдение технологии производства работ; квалификация сотрудников; качество проработки проекта; доступность сырья, материалов и оборудования; характер и условия производства работ.

При оценке поврежденных взрывом зданий особенно важно не только определить характер разрушений, но и заранее установить надежность организационно-технологических решений, обеспечивающих выполнение ремонта без срыва сроков, перерасхода ресурсов и снижения качества. Чтобы осуществить данные требования, необходимо выявить параметры, от которых надежность работ зависит в наибольшей степени.

Использование моделей расчета организационно-технологической надежности (ОТН) ранее восстановленных объектов не позволит учесть все риски в полной мере. Но опираясь на уже известные данные, можно существенно сократить область выборки влияющих на надежность факторов.

Для проведения исследования были выбраны два наиболее подходящих метода, одним из

которых является метод экспертных оценок. Он позволяет собрать мнения всех специалистов воедино, что наиболее наглядно отражает проблематику изучаемых процессов. В дополнение к уже представленному методу был использован закон равномерного распределения, который применяется в случаях, когда событие случается внутри заданного временного интервала, и вероятность его появления одинакова в любой точке этого интервала.

Союз выбранных инструментов позволяет с достаточной точностью провести анализ и группировку факторов, влияющих на K_{rt} (надежность по срокам реализации проекта) и K_{rp} (надежность по стоимости реализации проекта) [1]. Благодаря этому в конце исследования удастся сформировать уравнение регрессии, позволяющее достоверно определить истинность проведенной работы по комплексному расчету

Таблица 1. Отбор факторов по экспертным оценкам

№	Наименование факторов риска	Эксперты											Σ рангов	Вес фактора
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	Качество проработки проекта	19	20	18	22	23	19	20	21	22	21	20	225	0,063452
2	Технологичность	13	9	10	14	13	9	10	15	13	10	11	127	0,035815
3	Наличие стесненных условий	3	1	5	4	4	3	2	4	2	5	6	39	0,010998
4	Качество организации работ	25	20	24	22	21	25	22	24	22	21	23	249	0,07022
5	Степень контроля качества выполняемых работ	16	18	18	20	17	19	17	16	20	16	19	196	0,055274
6	Степень изученности территории строительства	10	9	11	12	10	9	10	13	12	11	10	117	0,032995
7	Доступность сырья, материалов и оборудования	18	21	22	19	20	20	22	19	21	22	18	222	0,062606
8	Необходимость экстренного проведения работ	10	9	11	8	10	9	10	11	8	9	10	105	0,029611
9	Степень цифровизации строительных процессов	12	9	11	9	10	9	10	11	12	9	10	112	0,031585
10	Применяемые стройматериалы	4	4	6	6	3	7	7	4	7	4	3	55	0,01551
11	Квалификация сотрудников	22	19	23	21	20	24	19	21	23	20	19	231	0,065144
12	Характер и условия производства работ	17	20	21	19	22	20	18	21	20	18	19	215	0,060632
13	Состояние здания	18	19	17	21	20	18	19	17	21	20	19	209	0,05894
14	Применение инновационных технологий	10	9	11	12	10	9	10	11	8	11	10	111	0,031303
15	Объемно-планировочные и конструктивные решения	19	20	18	22	21	19	20	18	22	21	20	220	0,062042
16	Соблюдение технологии производства работ	23	21	24	21	20	22	23	24	20	22	21	241	0,067964
17	Уровень механизации	13	16	12	15	14	13	16	15	12	14	13	153	0,043147
18	Уровень ответственности объекта	14	17	13	16	15	14	17	16	13	15	14	164	0,046249
19	Продолжительность теплового и холодного периода	10	8	7	9	10	9	10	8	7	9	10	97	0,027355
20	Наличие подземных вод и их расположение	4	5	4	3	7	6	4	3	5	7	6	54	0,015228
21	Повышенная сейсмичность	3	7	4	3	2	8	8	5	6	4	7	57	0,016074
22	Характер взрывного воздействия	21	22	20	17	18	21	22	20	17	18	22	196	0,055274
23	Инфраструктурные условия	14	15	13	16	17	14	15	14	17	16	15	151	0,042583

ОТН.

Опираясь на данные из нормативных документов и исследование выявленных факторов, составлен рейтинговый массив, показывающий наиболее вредоносные показатели, воздействующие на ОТН (табл. 1).

Анализируя данные факторы, удалось сократить их список до 6 наиболее значимых, оказывающих влияние на ремонтно-восстановительные работы в большей степени (рис. 1).

Вместе с тем многокомпонентность оценки ОТН восстановительных работ должна пред-

1.1	Нормативное	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Качество проработки проекта 4. Квалификация сотрудников	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Доступность сырья и т.д.	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Качество проработки проекта 4. Квалификация сотрудников	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Доступность сырья и т.д.
1.2	Работоспособное	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Качество проработки проекта 4. Доступность сырья и т.д.	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Квалификация сотрудников 4. Доступность сырья и т.д.	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Качество проработки проекта 4. Доступность сырья и т.д.	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Доступность сырья и т.д.
1.3	Ограниченно работоспособное	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Качество проработки проекта 4. Характер и условия производства работ	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Доступность сырья и т.д.	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Качество проработки проекта 4. Характер и условия производства работ	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Доступность сырья и т.д.
1.4	Аварийное	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Доступность сырья и т.д.	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Доступность сырья и т.д.	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Квалификация сотрудников	1. Качество организации работ 2. Соблюдение технологии производства работ 3. Характер и условия производства работ 4. Доступность сырья и т.д.
1. Техническое состояние объекта					
2. Функциональное назначение объекта					
Жилые и общественные		Производственные		Технически сложные	
2.1		2.2		2.3	
				2.4	

Рис. 1. Факторы (Φ_i), влияющие на надежность ремонта по стоимости и срокам

Таблица 2. Ранжирование факторов

Наименование фактора	Расшифровка понятия	Оценочный балл
Качество проработки проекта	Грубые ошибки в расчетах; проект не соответствует действующим нормативам; многочисленные замечания при согласовании, требующие переоформления	1
	Проект соответствует нормам, но отдельные разделы требуют доработки или уточнения; не все расчеты выполнены с учетом условий объекта	2
	Проект полностью соответствует действующим нормативам; учтены все нагрузки и условия площадки; наличие <i>BIM</i> -моделирования или детальных <i>3D</i> -расчетов	3
Качество организации работ	Низкоэффективное (несоблюдение техники безопасности труда, невыполнение строительных норм и градостроительных требований, неподчинение проектной и рабочей документации)	1
	Эффективное (выполнение всех требований организации работ, но контроль качества осуществляется на невысоком уровне)	2
	Высокоэффективное (качество работ на высоком уровне и его контроль осуществляется с помощью средств цифровизации)	3
Соблюдение технологии производства работ	При выполнении технологических процессов имеются существенные нарушения	1
	При выполнении технологических процессов имеются несущественные нарушения	2
	При выполнении технологических процессов нарушений не выявлено	3
Компетенции рабочих и ИТР	Компетенции и(или) опыта работы недостаточно	1
	Наличие высшего или специального образования, опыт работ 1–3 года	2
	Наличие высшего образования и опыта работ более 3 лет	3
Доступность сырья, материалов и оборудования	Критический дефицит материалов и оборудования, срывы сроков, использование низкокачественных материалов, отсутствие резервных источников снабжения	1
	Основная часть материалов в наличии, возможны небольшие задержки поставок, допускается замена отдельных материалов на аналоги с сохранением характеристик, часть оборудования берется в аренду, но без срывов графика работ	2
	Все необходимые материалы и оборудование в наличии на складе или с гарантированными сроками поставки, материалы сертифицированы и соответствуют проектной документации, есть резервные источники снабжения на случай форс-мажоров	3
Характер и условия производства работ	Работы в экстремальных условиях; плохая подготовка площадки; нарушения требований охраны труда; негативное воздействие на окружающую среду	1
	Допускаются небольшие отклонения от идеальных условий; локальные проблемы с организацией площадки; соблюдение основных требований охраны труда с незначительными нарушениями; умеренное воздействие на окружающую среду, компенсируемое мерами защиты	2
	Работы ведутся в благоприятных погодных условиях; площадка строительства подготовлена; полное соответствие требованиям охраны труда; минимальное воздействие на окружающую среду	3

усматривать использование и количественных критериев. Следовательно, для производимого исследования необходимо разработать упрощенную шкалу, которая могла бы в нескольких оценочных единицах описать уровень риска выбранных факторов в зависимости от их проработки, готовности и доступности. Выдвигаем следующую модель шкалы, в которой значения

показателей интерпретируются в баллы от 1 до 3, где 1 – неприемлемо, 2 – приемлемо, 3 – хорошо (табл. 2).

На основании полученных в исследовании данных построено линейное уравнение множественной регрессии, имеющее вид:

$$y_x = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6,$$

где x_1 – качество организации работ; x_2 – соблюдение технологии производства работ; x_3 – квалификация сотрудников; x_4 – качество проработки проекта; x_5 – доступность сырья, материалов и оборудования; x_6 – характер и условия производства работ; $b_1, b_2, \dots, b_6$ – коэффициенты регрессии, отражающие степень влияния каждого фактора; a – свободный член уравнения.

Расчет коэффициентов линейной регрессии выполнялся с применением матричных операций и встроенных функций в среде *Microsoft Excel*.

На основе полученных коэффициентов разработано уравнение множественной регрессии:

$$y_x = 0,091x_1 + 0,084x_2 + 0,102x_3 + 0,054x_4 + 0,070x_5 + 0,084x_6 - 0,399.$$

Для проверки его достоверности также были рассчитаны следующие показатели:

- 1) $TSS = 0,436$ – сумма квадратов относительно среднего $\bar{Y}$ (общая);
- 2) $RSS = 0,433$ – сумма квадратов, обусловленная регрессией (объясненная);
- 3) $ESS = 0,003$ – сумма квадратов относительно регрессии (необъясненная, остаток).

Необходимо соблюдение равенства:

$$TSS = RSS + ESS.$$

Вычисляем коэффициент детерминации:

$$R^2 = \frac{RSS}{TSS} = \frac{TSS - ESS}{TSS} = 1 - \frac{ESS}{TSS} = 0,99.$$

Полученное значение, равное 0,99, свидетельствует о стабильной статистической значимости модели.

Фактическое значение критерия Фишера (4) при $m = 6$ (число независимых переменных) и $n = 10$ (число наблюдений).

$$F_R = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m} = 40,43.$$

Критическое значение критерия Фишера определяется по таблицам для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и соответствующих степеней свободы ($k_1 = 6, k_2 = 3$) равно 2,92.

Сравниваем вычисленные значения:

$$F_R = 40,43 > F_{\text{крит}} = 2,92.$$

Полученное неравенство подтверждает, что нулевой гипотезой можно пренебречь, а при надежности в 95 % прогностические свойства модели высокие.

Комплексный расчет ОТН ремонта поврежденных взрывом зданий является важнейшей задачей, поскольку он позволяет оценить устойчивость восстановительного процесса, своевременность выполнения работ, а также безопасность, долговечность и эксплуатационную пригодность объекта.

Оценивая ОТН, следует учитывать возможность отказов как вероятность того, что в процессе ремонтно-восстановительно-работ показатели ОТН в виде продолжительности проекта, качества работ и предусмотренных затрат будут нарушены. Уровень ОТН, являясь случайной величиной ξ , может быть выражен через соответствующие вероятностные переменные, например, через интегральную функцию оценки вероятностей для определения того, что $\xi < x$, используем формулу определения интегральной функции распределения (вероятность величины отказов):

$$P(\xi < x) = F(x).$$

Исходя из значимых рисков событий, функция $F(x)$ оценивается как нестабильно переменная и постоянная. По результатам проделанной работы можно сформировать общую методику расчета ОТН, которая представлена в табл. 3.

В результате последовательного выполнения трех этапов была сформирована целостная методика оценки организационно-технологической надежности ремонта здания, поврежденного взрывом.

Согласно результатам исследования:

1) в процессе исследования были предложены показатели надежности ($K_{\text{нт}}$ – по срокам и $K_{\text{тп}}$ – по стоимости), которые позволяют оценить ОТН ремонта поврежденных взрывом зданий;

2) выявлены 6 ключевых факторов, влияющих на данные показатели ($K_{\text{нт}}$ и $K_{\text{тп}}$) и, как следствие, влияющих на комплексный расчет ОТН: качество организации работ, x_1 ($\Sigma = 249$); соблюдение технологии производства работ, x_2 ($\Sigma = 241$); квалификация сотрудников, x_3 ($\Sigma = 231$); качество проработки проекта, x_4

Таблица 3. Этапы метода комплексного расчета ОТН ремонта поврежденных взрывом зданий

1 этап	Подготовительный этап: анализ исходных данных и идентификация рисков Сбор и систематизация исходной информации по объекту, включая техническое задание, результаты обследования и сведения о характере взрывных повреждений. Анализ внешних и внутренних условий реализации ремонта, в том числе природно-климатических, правовых, ресурсных и производственных факторов. Формирование перечня потенциальных организационно-технологических рисков с учетом особенностей технического состояния здания и ограничений по безопасному ведению работ. Проведение экспертного опроса для количественной оценки выявленных рисков. Расчет средних значений существенности последствий (СП) и вероятности (В) по формулам: $СП = \sum_{i=1}^N СП_i / N; \quad В = \sum_{i=1}^N В_i / N.$ Расчет показателя балльно-рейтинговой интегральной оценки (БРИО) для каждого фактора с целью их последующего ранжирования: $БРИО = СП \times В$
2 этап	Расчет ОТН Определение ОТН по срокам (t) реализации проекта: $K_{rt} = T_{пр} / (T_{пр} + \sum_{i=1}^n m_i M_i),$ где $T_{пр}$ – срок реализации строительного проекта; m_i – влияние i-го негативного фактора на сроки строительства проекта (дни/событие); M_i – количество событий i-го негативного фактора влияния (события). Определение ОТН по стоимости (p) реализации проекта: $K_{rp} = P_{пр} / (P_{пр} + \sum_{i=1}^n p_i M_i),$ где $P_{пр}$ – установленная сметная (бюджетная) стоимость реализации проекта; M_i – количество событий i-го негативного фактора влияния (события); p_i – влияние i-го негативного фактора на стоимость проекта (млн руб/событие)
3 этап	Оценка ОТН и разработка корректирующих мероприятий Оценка ОТН ремонтного процесса на основе выбранной модели. Анализ способности принятого решения обеспечить соблюдение сроков, стоимости, качества и безопасных условий производства работ. Сравнение базового и скорректированного вариантов организации ремонта с учетом наиболее значимых рисков. Разработка корректирующих мероприятий, направленных на повышение надежности ремонтно-восстановительного процесса

($\Sigma = 225$); доступность сырья, материалов и оборудования, x_5 ($\Sigma = 222$); характер и условия производства работ, x_6 ($\Sigma = 215$);

3) опираясь на полученные в исследовании данные, было разработано уравнение множественной регрессии, которое отражает зависимость ОТН ремонтно-восстановительных от выбранных факторов:

$$y_x = 0,091x_1 + 0,084x_2 + 0,102x_3 + 0,054x_4 + 0,070x_5 + 0,084x_6 - 0,399;$$

4) предложена общая методика комплекс-

ного расчета ОТН ремонта зданий, поврежденных взрывом, которая позволяет сформировать полную оценку ОТН.

С практической точки зрения разработка комплексного расчета ОТН ремонта поврежденных взрывом зданий позволит более детально планировать восстановительные работы, учитывая при этом все условия, при которых возникают отклонения наиболее важных параметров: сроков и стоимости. Благодаря комплексному расчету можно минимизировать большинство рисков, а также повысить качество итогового восстановления объекта.

Литература

1. Шприц, М.Л. Оперативная оценка организационно-технологической надежности строительных проектов / М.Л. Шприц // Наукоеведение. – 2017. – Т. 9. – № 4.
2. Суй В. Система интервальных шкал и критериев для анализа факторов риска при строительстве и восстановлении технически сложных объектов / В. Суй, А.А. Руденко // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 5(187). – С. 124–132. – EDN: WKPXAD.
3. Авдеев, К.В. Обследование и восстановление поврежденных конструкций зданий вследствие взрывных и температурных воздействий / К.В. Авдеев, В.В. Бобров, П.В. Скакун, Д.И. Левин, Е.В. Домарова // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 7. – DOI: 10.33622/0869-7019.2023.07.36-42. – EDN: MWOVNZ.
4. Kagan, P. Theory and practice of organizational and technological design in construction / P. Kagan // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences. – 2023. – Т. 389. – P. 06013. – DOI: 10.1051/e3sconf/202338906013. – EDN: JVGZHI.
5. Аль-Мсари, А.А.Р.А. Моделирование организационно-технологической надежности комплексной застройки с учетом рисков ресурсобеспечения / А.А.Р.А. Аль-Мсари, А.А. Руденко // Вестник СибАДИ. – 2024. – № 21(1). – С. 120–133. – DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-1-120-133. – EDN: LNJLER.

References

1. SHprits, M.L. Operativnaya otsenka organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitelnykh proektov / M.L. SHprits // Naukovedenie. – 2017. – Т. 9. – № 4.
2. Suj V. Sistema intervalnykh shkal i kriteriev dlya analiza faktorov riska pri stroitelstve i vosstanovlenii tekhnicheskikh slozhnykh obektov / V. Suj, A.A. Rudenko // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 5(187). – S. 124–132. – EDN: WKPXAD.
3. Avdeev, K.V. Obsledovanie i vosstanovlenie povrezhdennykh konstruktsiy zdaniy vsledstvie vzryvnykh i temperaturnykh vozdeystviy / K.V. Avdeev, V.V. Bobrov, P.V. Skakun, D.I. Levin, E.V. Domarova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2023. – № 7. – DOI: 10.33622/0869-7019.2023.07.36-42. – EDN: MWOVNZ.
5. Al-Msari, A.A.R.A. Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti kompleksnoy zastrojki s uchetom riskov resursoobespecheniya / A.A.R.A. Al-Msari, A.A. Rudenko // Vestnik SibADI. – 2024. – № 21(1). – S. 120–133. – DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-1-120-133. – EDN: LNJLER.

© С.С. Коростелев, А.А. Лapidус, А.А. Руденко, 2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДИКА ВЫБОРА ВИДА РАБОТ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ЗДАНИЙ ОТ ВЗРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Д.А. СОРОКИНА¹, А.А. ЛАПИДУС², А.А. РУДЕНКО³

¹ ООО «Ди Би Си Констракшн», г. Москва;

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва;

³ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: повреждения зданий; моделирование; ремонт; ранжирование.

Аннотация: В статье рассматривается моделирование и методика выбора вида работ при повреждении зданий взрывным воздействием. Цель исследования – оценка значимости факторов и разработка методики выбора работ при повреждении зданий взрывом. Задача: выполнить регрессионную оценку влияния факторов на выбор вида работ при повреждении зданий. Гипотеза исследования заключается в предположении, что выбор вида работ при повреждении зданий является комплексной и многокомпонентной задачей, решаемой с учетом факторов регрессионной модели. Методы исследования: регрессионный анализ, экспертно-аналитическая оценка, прогнозирование и моделирование. В результате исследования выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на выбор вида работ: степень физического износа и разрушения, остаточная несущая способность конструкций, стоимость восстановительных работ, характер и объем разрушений, потребность в данном типе помещений в районе, наличие вредных выбросов или загрязнений.

Одним из самых опасных техногенных и антропогенных воздействий на объекты капитального строительства является взрыв, что может привести к потере несущей способности конструкций, образованию дефектов и повреждений, смещению конструктивных узлов сопряжений. Причинами таких воздействий могут быть различные источники: бытовой взрыв газа, техногенные аварии, террористические акты или же военные действия. На данный момент отсутствует достаточное количество экспериментальных исследований, теоретических обоснований и методических материалов для определения выбора строительно-монтажных работ (СМР) для объектов, поврежденных таким воздействием.

Анализ факторов, влияющих на выбор вида СМР, и применение метода экспертных оценок – первая и основная часть исследования. Для этого было выявлено 23 фактора различных групп (табл. 1). Затем одиннадцать экспертов, имеющих опыт в ремонтно-восстановительных

работах, оценили предложенные факторы по шкале от 1 до 23, где 1 – фактор с наименьшей значимостью, 23 – с наибольшей. Результаты оценки представлены в табл. 2.

На основании оценок экспертов были выбраны 6 наиболее значимых факторов, влияющих на выбор вида СМР. Факторы были распределены по виду целесообразных строительно-монтажных работ в соответствии с функциональным назначением объекта (табл. 3). Для определения уровня согласованности экспертов рассчитываем коэффициент конкордации, присваиваем факторам ранги значимости: степень разрушения – x_1 , остаточная несущая способность конструкций – x_2 , характер и объем повреждений – x_3 , стоимость восстановительных работ – x_4 , потребность в данном типе помещений – x_5 , наличие вредных выбросов и загрязнений – x_6 .

Коэффициент равняется 0,97, что является доказательством высокого уровня согласованности мнений экспертов.

Таблица 1. Факторы, влияющие на выбор вида СМР

№	Наименование фактора	Группы факторов
1	Степень физического износа и разрушения	Технические
2	Характер и объем повреждений	
3	Остаточная несущая способность конструкций	
4	Состояние инженерных систем	
5	Стоимость восстановительных работ	Экономические
6	Сравнение с затратами на новое строительство	
7	Срок окупаемости инвестиций	
8	Наличие и стоимость временного жилья (для жилых зданий)	
9	Расположение в структуре города	Градостроительные
10	Плотность застройки и условия стесненности	
11	Соответствие современным градостроительным нормам	
12	Влияние на окружающую застройку	
13	Наличие охранного статуса	Историко-культурные
14	Историческая и архитектурная ценность	
15	Мемориальное значение	
16	Функциональное назначение и его актуальность	Функциональные
17	Социальная значимость объекта	
18	Потребность в данном типе помещений в районе	
19	Мнение жителей и общественности	
20	Наличие вредных выбросов или загрязнений	Экологические
21	Экологичность строительных материалов	
22	Энергоэффективность будущего здания	
23	Сроки проведения работ	Организационные

Следующим этапом стал процесс шкалирования с обоснованием балльных оценок от 1 до 3, что необходимо для количественного учета наиболее важных факторов на конкретных объектах ремонта (табл. 4).

По данным, полученным на основании оценки 10 объектов, требующих восстановления, составлено линейное уравнение множественной регрессии, имеющее следующий вид:

$$y_x = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6.$$

Также рассчитывается общая сумма квадратов отклонений ($TSS = 0,201$), сумма квадратов, обусловленная регрессией ($RSS = 0,201$) и остаточная сумма квадратов ($ESS = 0,001$). На основании рассчитанных показателей методом наименьших квадратов определяем коэффициенты

регрессии (табл. 5).

Составляем итоговое уравнение:

$$y_x = 0,054x_1 + 0,064x_2 + 0,080x_3 + 0,069x_4 + 0,104x_5 + 0,089x_6 - 0,327.$$

Проверяем полученные значения. Должно выполняться следующее равенство:

$$TSS = ESS + RSS.$$

Находим коэффициент детерминации:

$$R^2 = \frac{RSS}{TSS} = \frac{TSS - ESS}{TSS} = 1 - \frac{ESS}{TSS} = 1,0.$$

Коэффициент детерминации равен 1,0, что

Таблица 2. Отбор факторов по оценкам экспертов

№	Наименование фактора	Эксперты											Сумма рангов	Вес фактора	S (суммаризация факторов)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	Степень физического износа и разрушения	23	22	23	22	22	23	23	22	23	22	23	248	0,082	13456
2	Соответствие современным градостроительным нормам	17	19	21	19	19	21	17	19	18	19	21	210	0,069	6084
3	Остаточная несущая способность конструкций	22	23	22	23	23	22	20	23	22	23	22	245	0,081	12769
4	Состояние инженерных систем	18	16	15	15	16	16	18	15	16	16	18	179	0,059	2209
5	Стоимость восстановительных работ	21	20	17	20	20	17	21	20	21	20	17	214	0,071	6724
6	Сравнение с затратами на новое строительство	11	11	10	11	11	10	11	11	11	11	10	118	0,039	196
7	Срок окупаемости инвестиций	6	6	5	6	6	5	6	4	6	6	5	61	0,020	5041
8	Наличие и стоимость временного жилья (для жилых зданий)	5	2	6	4	2	6	5	2	5	2	6	45	0,015	7569
9	Расположение в структуре города	15	14	16	16	15	14	15	16	15	15	14	165	0,054	1089
10	Плотность застройки и условия стесненности	10	10	11	10	10	11	10	12	10	10	11	115	0,038	289
11	Характер и объем разрушений	20	21	20	21	21	20	22	21	20	21	20	227	0,075	9025
12	Влияние на окружающую застройку	4	4	1	2	4	1	4	6	4	4	1	35	0,012	9409
13	Потребность в данном типе помещений в районе	19	17	18	17	18	18	19	17	19	17	19	198	0,065	4356
14	Историческая и архитектурная ценность	13	13	12	13	13	12	13	13	13	13	12	140	0,046	64
15	Мемориальное значение	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	36	0,012	9216
16	Функциональное назначение и его актуальность	12	15	14	14	14	15	14	14	12	14	15	153	0,050	441
17	Социальная значимость объекта	7	7	9	8	7	9	7	7	8	7	9	85	0,028	2209
18	Наличие охранного статуса	14	12	13	12	12	13	12	10	14	12	13	137	0,045	25
19	Мнение жителей и общественности	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	3	17	0,006	13225
20	Наличие вредных выбросов или загрязнений	16	18	19	18	17	19	16	18	17	18	16	192	0,063	3600
21	Экологичность строительных материалов	8	9	8	7	8	8	9	8	7	8	8	88	0,029	1936
22	Энергоэффективность будущего здания	9	8	7	9	9	7	8	9	9	9	7	91	0,029	1681
23	Сроки проведения работ	2	5	2	5	5	2	2	5	2	5	2	37	0,012	9025
Среднее значение													132		119638
Сумма													3036		

Таблица 3. Факторы, влияющие на выбор вида СМР

1.1	Снос (демонтаж)	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Наличие вредных выбросов 4. Остаточная несущая способность конструкций	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Наличие вредных выбросов 4. Остаточная несущая способность конструкций
1.2	Капитальный ремонт	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Потребность в данном типе помещений 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Потребность в данном типе помещений 4. Остаточная несущая способность конструкций	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Наличие вредных выбросов 4. Остаточная несущая способность конструкций	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Наличие вредных выбросов 4. Остаточная несущая способность конструкций
1.3	Реконструкция	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Потребность в данном типе помещений 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Потребность в данном типе помещений 4. Остаточная несущая способность конструкций	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Наличие вредных выбросов	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Наличие вредных выбросов
1.4	Реставрация	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ
1.5	Техническое перевооружение	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Потребность в данном типе помещений 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Потребность в данном типе помещений 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Потребность в данном типе помещений 4. Наличие вредных выбросов	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Потребность в данном типе помещений 4. Наличие вредных выбросов
1.6	Консервация	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ	1. Степень разрушения 2. Характер и объем повреждений 3. Остаточная несущая способность конструкций 4. Стоимость восстановительных работ
1. Вид строительного-монтажных работ					
2. Функциональное назначение объекта					
Жилые и общественные		Производственные		Технически сложные и особо опасные	
2.1		2.2		2.3	
				2.4	

Таблица 4. Ранжирование факторов

Наименование фактора	Расшифровка понятия	Оценочный балл
Степень разрушения	Низкая (локальные поверхностные дефекты)	1
	Средняя (значительные дефекты)	2
	Высокая (аварийное состояние)	3
Остаточная несущая способность конструкций	Высокая (составляет более 80 % от проектной)	1
	Средняя (составляет 50–80 % от проектной)	2
	Низкая (составляет менее 50 % от проектной)	3
Характер и объем повреждений	Малый (локальные повреждения)	1
	Средний (распространенные повреждения)	2
	Большой (массовые повреждения)	3
Стоимость восстановительных работ	Низкая (менее 10 % от стоимости нового аналогичного объекта)	1
	Средняя (10–40 % от стоимости нового объекта)	2
	Высокая (более 40 % от стоимости нового объекта)	3
Потребность в данном типе помещений	Низкая (спрос отсутствует, близок к нулю)	1
	Средняя (умеренный спрос)	2
	Высокая (острая необходимость в зданиях)	3
Наличие вредных выбросов и загрязнений	Малое (превышений ПДК нет)	1
	Среднее (умеренное превышение ПДК)	2
	Большое (недопустимое превышение ПДК)	3

Таблица 5. Коэффициенты уравнения регрессии

a	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
-0,327	0,054	0,064	0,080	0,069	0,104	0,089

означает достаточную точность уравнения.

Для дальнейшей проверки рассчитаем F – критерий Фишера (уровень значимости 0,05, число переменных $m = 6$, количество наблюдений $n = 10$), тогда уравнение имеет вид:

$$F_R = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{n - m - 1}{m} = 81,8.$$

Рассчитанное значение значительно превышает критическое, равное 2,92, что говорит о том, что полученное уравнение регрессии статистически значимо.

По выявленным наиболее значимым факторам предлагается создать алгоритм выбора вида СМР.

Для оценки факторов определим следующие показатели.

В первую очередь стоит определить фактическое состояние конструкций после взрывного воздействия и техническое состояние здания.

Оценка степени повреждения будет определяться как отношение объема разрушений к общему объему здания.

Показатель физического износа здания следует определять по следующей формуле с учетом коэффициента взрывного воздействия k_{expl} :

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n w_i a_i}{100} k_{expl}.$$

Остаточная несущая способность повреж-

Таблица 6. Алгоритм выбора вида СМР

№	Наименование этапа	Содержание работ	Формула	Критерии принятия решений
1	Техническое обследование после взрыва	Визуальный и инструментальный осмотр здания, выявление видимых разрушений, трещин, деформаций; отбор проб материалов, лабораторные испытания	–	Определяется фактическое состояние конструкций, наличие скрытых дефектов, категория технического состояния
2	Оценка степени разрушения	Выявление доли поврежденных конструкций в общем объеме с учетом характера взрывного воздействия	$D = \frac{V_d}{V_t}$	$D < 0,2$ – локальные повреждения $0,2-0,6$ – средний уровень повреждений $D > 0,6$ – значительные разрушения
3	Оценка физического износа с учетом взрывных дефектов	Определение средневзвешенного физического износа по ВСН 53-86(р) с добавлением коэффициента, учитывающего взрывные нагрузки	$W = \frac{\sum (W_i \cdot a_i)}{100} \cdot k_{\text{expl}}$	$W < 0,3$ – удовл. состояние $0,3-0,5$ – износ выше нормы $0,5-0,7$ – предельный износ $W > 0,7$ – восстановлению не подлежит
4	Оценка остаточной несущей способности	Расчет фактической несущей способности поврежденных конструкций (изгиб, сжатие, взрыв) по сравнению с проектным значением	$R = \frac{N_{\text{fact}}}{N_{\text{proj}}}$	$R > 0,8$ – достаточно локального ремонта $0,5-0,8$ – требуется усиление $0,2-0,5$ – замена конструкций с усилением $R < 0,2$ – полная замена конструкций
5	Экономическая оценка	Сравнение сметной стоимости восстановительных работ со стоимостью нового строительства аналогичного здания	$E = \frac{C_r}{C_n}$	$E < 0,4$ – восстановление выгодно $0,4-0,7$ – требуется анализ $E > 0,7$ – восстановление невыгодно
6	Оценка потребности в данном типе помещений в районе	Анализ градостроительной ситуации: социальная значимость объекта, дефицит/профицит	$P = \frac{S_{\text{need}}}{S_{\text{available}}}$	$P > 1,2$ – острая потребность $0,8-1,2$ – сбалансировано $P < 0,8$ – избыток площадей
7	Экологическая оценка – вредные выбросы и загрязнения	Выявление и количественная оценка загрязнений после взрыва	$En = \frac{C_{\text{actual}}}{C_{\text{maxallow}}}$	$En < 0,5$ – допустимый фон $0,5-1,0$ – требуются средства защиты $En > 1,0$ – необходим демонтаж
8	Комплексная многокритериальная оценка и выбор вида СМР	Интеграция показателей с весовыми коэффициентами. Выбор оптимального вида работ	–	Итоговое решение: Текущий ремонт Усиление конструкций Капитальный ремонт Реконструкция Частичный демонтаж + новое строительство Полный снос Консервация

денного здания – отношением потерянной несущей способности к первоначальной, проектной. Экономическим показателем является сравнение стоимости восстановительных работ с новым строительством аналогичного здания.

Оценка потребности подобных зданий и сооружений в районе также немаловажный фак-

тор, который определяется как отношение необходимого количества пространств к доступным на данный момент времени. Экологическая оценка будет показывать уровень вредных выбросов от повреждения в сравнении с максимально допустимым уровнем. На основании многокритериальной оценки возможно выбрать

наиболее подходящий вид восстановительных работ.

Также стоит учитывать и организационно-технологическую надежность последующих действий, так как в отдельных случаях дефекты начинают проявляться в течение от 1 до 15 месяцев с момента получения повреждения, что обуславливается следующими основными причинами:

- неполными данными о фактическом состоянии строительных конструкций и техническом состоянии поврежденного объекта, где указанное приводит к выявлению дефектов уже в процессе ремонта;

- задержками, связанными с необходимостью проведения дополнительных исследований и внесением изменений в проект, а возможно и с дополнительной экспертизой проектных решений.

Предложенный алгоритм выбора вида СМР указан в табл. 6.

Представим результаты исследования.

1. Определены факторы, в наибольшей

степени влияющие на выбор вида СМР для зданий, поврежденных взрывом.

2. Факторы были проанализированы. Наиболее значимыми оказались: характер и объем повреждений, степень разрушения, остаточная несущая способность конструкций, стоимость восстановительных работ, наличие вредных выбросов и загрязнений, потребность в данном типе помещений.

3. На основании оценок экспертов составлено статистически значимое уравнение регрессии:

$$y_x = 0,054x_1 + 0,064x_2 + 0,080x_3 + 0,069x_4 + 0,104x_5 + 0,089x_6 - 0,327.$$

Полученные результаты позволяют оценивать влияние факторов на выбор вида работ, что может улучшить их качество. Также данное исследование дает возможность прогнозирования выбора вида СМР для поврежденных взрывом зданий.

Литература

1. ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий.
2. Авдеев, К.В. Обследование и восстановление поврежденных конструкций зданий вследствие взрывных и температурных воздействий / К.В. Авдеев, В.В. Бобров, П.В. Скакун, Д.И. Левин, Е.В. Домарова // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 7. – DOI: 10.33622/0869-7019.2023.07.36-42. – EDN: MWOVNZ.
3. Суй, В. Система интервальных шкал и критериев для анализа факторов риска при строительстве и восстановлении технически сложных объектов / В. Суй, А.А. Руденко // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 5(187). – С. 124–132. – EDN: WKPXAD.
4. Парамонов, М.Ю. Структура автоматизированной оценки технического состояния объекта капитального строительства / М.Ю. Парамонов, И.А. Горшков // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 8(191). – С. 60–64. – EDN: LASWNW.

References

1. VSN 53-86(r). Pravila otsenki fizicheskogo iznosa zhilykh zdaniy.
2. Avdeev, K.V. Obsledovanie i vosstanovlenie povrezhdennykh konstruksij zdaniy vsledstvie vzryvnykh i temperaturnykh vozdeystvij / K.V. Avdeev, V.V. Bobrov, P.V. Skakun, D.I. Levin, E.V. Domarova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2023. – № 7. – DOI: 10.33622/0869-7019.2023.07.36-42. – EDN: MWOVNZ.
3. Suj, V. Sistema intervalnykh shkal i kriteriev dlya analiza faktorov riska pri stroitelstve i vosstanovlenii tekhnicheskii slozhnykh obektov / V. Suj, A.A. Rudenko // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 5(187). – S. 124–132. – EDN: WKPXAD.
4. Paramonov, M.YU. Struktura avtomatizirovannoj otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya obekta kapitalnogo stroitelstva / M.YU. Paramonov, I.A. Gorshkov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 8(191). – S. 60–64. – EDN: LASWNW.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНОЛИТНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА СИРИИ

А.О. ХУБАЕВ, К. АЛЬСАД, И.С. РУМЯНЦЕВ

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
г. Москва*

Ключевые слова и фразы: бетон; жаркий климат; монолитные работы; пластическая усадка; технологические риски; уход за бетоном; эффективность строительства.

Аннотация: В статье рассматривается проблема выполнения монолитных бетонных работ в условиях жаркого климата Сирии. Основное внимание уделено не простому перечислению климатических факторов, а их влиянию на технологическую надежность бетонирования: сохранение подвижности бетонной смеси, скорость испарения влаги, условия раннего твердения и вероятность появления дефектов. Цель работы состоит в определении основных рисков, возникающих при производстве монолитных работ, и формировании направлений их снижения с учетом региональных особенностей Сирии. В исследовании использованы анализ научной и нормативной литературы, сравнительно-аналитический метод, обобщение технологических рекомендаций и систематизация факторов, влияющих на качество монолитных работ в жарком климате.

Гипотеза: повышение эффективности монолитных бетонных работ в условиях жаркого климата Сирии возможно не за счет отдельных мероприятий, а за счет комплексной адаптации существующих научных и нормативных подходов к региональным климатическим, ресурсным и организационным условиям строительства.

Достигнутые результаты: определены основные технологические риски монолитного бетонирования в Сирии, связанные с высокой температурой, низкой влажностью, солнечной радиацией, ветром, ускоренным испарением влаги и нарушением раннего твердения. Обоснована необходимость комплексного организационно-технологического подхода.

В результате анализа предложен комплексный подход, предусматривающий контроль состава и температуры бетонной смеси, сокращение времени транспортирования и укладки, защиту свежеуложенного бетона от высыхания и организацию своевременного ухода.

В условиях Сирии повышение эффективности монолитных работ актуально не из-за высокой температуры как отдельного природного фактора, а из-за ее влияния на весь технологический цикл бетонирования. Высокая температура, солнечная радиация, низкая относительная влажность и ветер ускоряют испарение влаги, снижают удобоукладываемость бетонной смеси и повышают риск пластической усадки, трещинообразования и нарушения раннего твердения [5; 9].

На практике это требует управления не отдельной операцией, а всем процессом: составом бетонной смеси, временем транспортирования

и укладки, защитой поверхности и ранним уходом. Особенно опасно восстанавливать подвижность смеси добавлением воды, поскольку увеличение водоцементного отношения повышает пористость и снижает прочность и долговечность бетона [10; 11]. Поэтому проблема рассматривается как комплексная организационно-технологическая задача, требующая адаптации известных рекомендаций к условиям Сирии.

Методологической основой статьи является анализ научных и нормативных источников по бетонированию в жаркую погоду, уходу за бетоном, свойствам бетонной смеси и долговечности бетонных конструкций. Используются

Таблица 1. Основные технологические риски монолитного бетонирования в условиях жаркого климата Сирии и направления их снижения

Технологический риск	Причина возникновения	Направление снижения риска
Потеря удобоукладываемости	Высокая температура смеси, длительное транспортирование, испарение влаги	Контроль температуры смеси, сокращение времени транспортирования и укладки, применение добавок
Интенсивное испарение влаги	Низкая влажность, солнечная радиация, ветер	Защита поверхности от солнца и ветра, влагосохраняющие покрытия, своевременный уход
Пластическая усадка и трещины	Быстрое высыхание поверхности в ранний период	Ограничение испарения, раннее начало ухода, поддержание влажностного режима
Снижение прочности и долговечности	Необоснованное добавление воды, рост водоцементного отношения	Контроль состава смеси, водоредуцирующие и пластифицирующие добавки
Нарушение твердения	Недостаточный уход, перегрев поверхности, неравномерное распределение влаги	Контроль температурно-влажностных условий и организация ухода

сравнительно-аналитический метод, обобщение технологических рекомендаций и систематизация факторов, влияющих на качество монолитных работ в жарком климате.

В литературе бетонирование в жаркую погоду рассматривается как задача управления технологическими рисками. Руководство *ACI 305R-20* связывает влияние высокой температуры, низкой влажности и ветра со свойствами бетонной смеси, ее транспортированием, укладкой, уходом и контролем [5]. *ACI 308R-16* рассматривает уход за бетоном как совокупность практик, материалов и методов контроля, обеспечивающих нормальные условия твердения [6].

Для условий Сирии эти рекомендации требуют адаптации, поскольку на строительной площадке одновременно действуют климатические, ресурсные и организационные ограничения: продолжительный жаркий период, сухость воздуха, солнечная радиация, ветер, ограниченность воды для ухода и различный уровень технического оснащения.

Исследования пластических усадочных трещин в жарких и засушливых условиях подтверждают, что температура, относительная влажность и высыхание существенно влияют на раннее трещинообразование [7]. Эти данные используются не как характеристика климата Сирии, а как научное обоснование необходимости ограничения испарения, защиты поверхно-

сти и своевременного ухода за бетоном.

На основании анализа климатических воздействий и технологических операций выделены основные риски монолитного бетонирования и направления их снижения. Такая систематизация позволяет перейти от общего описания влияния жаркой погоды к управлению конкретными стадиями технологического процесса (табл. 1).

Представленная систематизация показывает, что риски взаимосвязаны. Потеря удобоукладываемости осложняет укладку и уплотнение, а попытка восстановить подвижность добавлением воды ухудшает структуру бетона. Интенсивное испарение влаги, в свою очередь, повышает риск пластической усадки и трещинообразования.

К основным направлениям повышения эффективности монолитных работ в Сирии относятся: рациональный подбор состава смеси с ограничением водоцементного отношения; применение пластифицирующих и водоредуцирующих добавок; контроль температуры исходных материалов и бетонной смеси; сокращение времени транспортирования, укладки и уплотнения; бетонирование в менее жаркие периоды суток; защита свежееуложенного бетона от солнца и ветра; применение влагосохраняющих покрытий; своевременный уход и контроль температурно-влажностных условий. Эти мероприятия должны применяться не разрозненно, а как

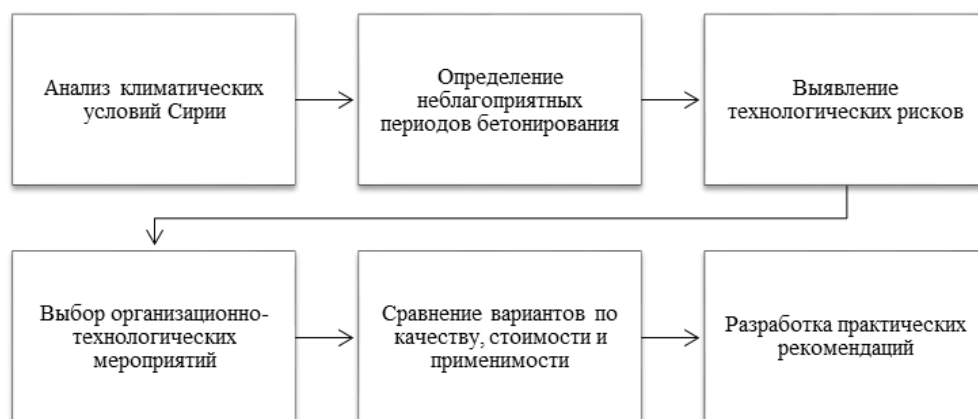


Рис. 1. Блок-схема исследования

единая система управления рисками [5; 6].

Результаты анализа показывают, что повышение эффективности монолитных работ в жарком климате Сирии должно основываться на переходе от отдельных защитных мероприятий к системе управления технологическими рисками. Основное значение имеет согласование всех этапов производства работ: подготовки материалов, транспортирования, укладки, уплотнения, защиты поверхности и ухода за бетоном.

Наиболее уязвимым является ранний период после укладки бетонной смеси. В это время бетон еще не обладает достаточной прочностью, а его поверхность подвергается действию высокой температуры, солнечной радиации, низкой влажности и ветра. При таких условиях возрастает скорость испарения влаги, что приводит к пластической усадке и раннему трещинообразованию. Исследования показывают, что более жесткие условия высыхания вызывают более раннее и интенсивное развитие трещин [7; 12; 13].

Для условий Сирии целесообразно выделить три уровня управления качеством. *Первый уровень* связан с подготовкой бетонной смеси: выбор рационального водоцементного отношения, применение добавок, контроль температуры материалов и исключение необоснованного увеличения воды. *Второй уровень* относится к организации производства: сокращение времени транспортирования, непрерывность укладки и уплотнения, выполнение работ в менее жаркие периоды. *Третий уровень* связан с ранним уходом: защита поверхности, сохранение влаги и поддержание благоприятных условий твер-

дения.

Предлагаемый подход не заменяет существующие нормативные рекомендации, а систематизирует и адаптирует их к условиям Сирии. В отличие от общего перечисления факторов жаркого климата, он рассматривает каждое климатическое воздействие как источник конкретного технологического риска и связывает его с соответствующими мерами снижения.

Дальнейшее исследование предполагается направить не только на описание негативного влияния жаркого климата, но и на разработку методики повышения эффективности монолитных бетонных работ в условиях Сирии. Основная задача заключается в переходе от анализа климатических факторов к формированию конкретных организационно-технологических решений, направленных на снижение риска дефектов и повышение качества монолитных конструкций.

На первом этапе планируется проанализировать климатические параметры отдельных регионов Сирии: температуру воздуха, относительную влажность, солнечную радиацию и скорость ветра [9]. Это позволит определить наиболее неблагоприятные периоды для бетонирования и условия, при которых возрастает риск испарения влаги, потери удобоукладываемости и раннего трещинообразования.

На втором этапе предполагается связать выявленные климатические условия с технологическими рисками монолитного бетонирования: повышением температуры бетонной смеси, ускоренным испарением воды, снижением подвижности смеси, нарушением раннего твердения, пластической усадкой и трещинообразова-

нием [5; 7].

На третьем этапе будут рассмотрены возможные пути снижения указанных рисков: подбор состава бетонной смеси, ограничение водоцементного отношения, применение пластифицирующих и водоредуцирующих добавок, контроль температуры материалов, сокращение времени транспортирования и укладки, бетонирование в менее жаркие периоды суток, защита свежесуложенного бетона от солнца и ветра, применение влагосохраняющих покрытий и своевременный уход за бетоном [2; 5; 6; 10; 11].

На рис. 1 изображена предлагаемая блок-схема дальнейшего исследования.

Таким образом, дальнейшее исследование будет направлено на разработку адаптированной методики выполнения монолитных работ в жарком климате Сирии. Ожидаемым результатом является формирование практических рекомендаций для этапов подготовки, укладки бетонной смеси и раннего ухода за бетоном.

Проведенный анализ показывает, что повышение эффективности монолитных работ в условиях жаркого климата Сирии является комплексной организационно-технологической задачей. Ее решение не может ограничиваться снижением температуры бетонной смеси или защитой поверхности от испарения. Необходимо учитывать весь цикл работ: подготовку смеси, транспортирование, укладку, уплотнение, защиту свежесуложенного бетона и уход в ранний период твердения.

Установлено, что основными рисками являются потеря удобоукладываемости, интенсивное испарение влаги, нарушение гидратации цемента, пластическая усадка, трещинообразование, увеличение пористости и снижение долговечности конструкций. Для Сирии эти риски усиливаются сочетанием высокой температуры, низкой влажности, солнечной радиации, ветра, а также ресурсных и организационных ограничений строительной площадки.

Существующие рекомендации по бетонированию в жаркую погоду и уходу за бетоном создают технологическую основу для снижения отрицательного влияния климата [5; 6]. Однако их применение в Сирии требует адаптации к региональным условиям. В качестве основного направления предложен комплексный подход, включающий регулирование состава смеси, ограничение водоцементного отношения, применение добавок, сокращение времени транспортирования и укладки, защиту поверхности и своевременный уход. Практическая значимость подхода заключается в снижении риска дефектов и формировании основы для дальнейших технологических рекомендаций по бетонированию в жарком климате Сирии.

Полученные результаты являются основой для последующего этапа исследования, связанного с более детальной оценкой климатических условий Сирии, сравнением возможных технологических решений и разработкой практических рекомендаций по выполнению монолитных бетонных работ в жарком климате.

Литература

1. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. – Введ. 2012-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 24 с.
2. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – Введ. 2011-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 16 с.
3. СП 48.13330.2019. Организация строительства: актуализированная редакция СНиП 12-01-2004. – М. : Минстрой России, 2019. – 88 с.
4. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции: актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. – М. : Минрегион России, 2012. – 176 с.
5. ACI 305R-20. Guide to Hot Weather Concreting / ACI Committee 305. – Farmington Hills: American Concrete Institute, 2020. – 32 p.
6. ACI 308R-16. Guide to External Curing of Concrete / ACI Committee 308. – Farmington Hills: American Concrete Institute, 2016. – 40 p.
7. Alshammari, T.O. The Effect of Harsh Environmental Conditions on Concrete Plastic Shrinkage Cracks: Case Study Saudi Arabia / T.O. Alshammari, M. Guadagnini, K. Pilakoutas // Materials. – 2022. – Vol. 15. – No. 23. – Article 8622. – DOI: 10.3390/ma15238622. – EDN: TLKOEL.
8. Awad, A. Reinforced concrete frame with concrete shear walls – dual system. Report #59. Syrian Arab Republic / A. Awad, H. Bassam, I. Talal // World Housing Encyclopedia. – 2002.

9. Climate Centre. Syria: Climate Fact Sheet. – The Hague: Red Cross Red Crescent Climate Centre, 2024.
10. Mehta, P.K. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials : 4th ed. / P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro. – New York : McGraw-Hill Education, 2014. – 704 p.
11. Neville, A.M. Properties of Concrete : 5th ed. / A.M. Neville. – Harlow : Pearson Education Limited, 2011. – 872 p.
12. Хаев, Т.Э. Инновационные технологии бетонирования в современном строительстве / Т.Э. Хаев, Б.А. Айдаров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 10. – С. 553–555. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-10-553-554. – EDN: RLAZAR.
13. Айдаров, С.Р. Оценка организационно-технологических и конструктивных аспектов метода бетонирования перекрытий с применением сталефибробетона / С.Р. Айдаров, А. Де Ла Фуэнте, Р.С. Фатуллаев, Е.М. Пугач // Строительное производство. – 2020. – № 2. – С. 17–22. – DOI: 10.54950/26585340_2020_2_17. – EDN: MCTTQA.

References

1. GOST 7473-2010. Smesi betonnye. Tekhnicheskie usloviya. – Vved. 2012-01-01. – М. : Standartinform, 2011. – 24 s.
2. GOST 24211-2008. Dobavki dlya betonov i stroitel'nyh rastvorov. Obshchie tekhnicheskie usloviya. – Vved. 2011-01-01. – М. : Standartinform, 2010. – 16 s.
3. SP 48.13330.2019. Organizaciya stroitel'stva: aktualizirovannaya redakciya SNiP 12-01-2004. – М. : Minstroj Rossii, 2019. – 88 s.
4. SP 70.13330.2012. Nesushchie i ograzhdayushchie konstrukcii: aktualizirovannaya redakciya SNiP 3.03.01-87. – М. : Minregion Rossii, 2012. – 176 s.
12. Haev, T.E. Innovacionnye tekhnologii betonirovaniya v sovremennom stroitel'stve / T.E. Haev, B.A. Ajdarov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 10. – С. 553–555. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-10-553-554. – EDN: RLAZAR.
13. Ajdarov, S.R. Ocenka organizacionno-tekhnologicheskikh i konstruktivnykh aspektov metoda betonirovaniya perekrytij s primeneniem stalefibrobetona / S.R. Ajdarov, A. De La Fuente, R.S. Fatullaev, E.M. Pugach // Stroitel'noe proizvodstvo. – 2020. – № 2. – С. 17–22. – DOI: 10.54950/26585340_2020_2_17. – EDN: MCTTQA.

© А.О. Хубаев, К. Альсад, И.С. Румянцев, 2026

ВЗАИМОСВЯЗЬ ДОБРОСОВЕСТНОСТИ И НЕЙРОТИЗМА КАК ФАКТОР ИСТОЩЕНИЯ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ У СТУДЕНТОВ-ПЕРВОКУРСНИКОВ

М.А. АНИКИНА, В.Н. БУТЕНКО, Т.Г. АВДЕЕВА, Е.О. ВИННИК

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
г. Красноярск

Ключевые слова и фразы: первокурсники; добросовестность; нейротизм; истощение нервной системы; адаптация к вузу; психофизиологические особенности; «токсичный синергизм».

Аннотация: Исследование посвящено изучению психофизиологических особенностей студентов-первокурсников с высоким уровнем добросовестности и нейротизма. Выборку составили 38 студентов первого курса Сибирского федерального университета в возрасте от 18 до 21 года. Использовались методики: *NEO-FFI*, опросник Айзенка (*EPI*), блок поведенческих вопросов и аппаратно-программный комплекс *Lotus-pulse*. Сочетание высокой добросовестности и высокого нейротизма является значимым фактором риска нервно-психического истощения. Предложена интегративная модель «токсичного синергизма».

Введение

Первый курс является наиболее стрессогенным этапом обучения в вузе: именно здесь фиксируется максимальный уровень тревожности, наиболее выраженные нарушения сна и наивысшие показатели субъективного ощущения нагрузки [5]. Особого внимания заслуживают студенты с сочетанием высокой добросовестности и высокого нейротизма. Добросовестность как личностная черта обеспечивает высокую академическую успеваемость, самоорганизацию и целеустремленность, однако при чрезмерной выраженности трансформируется в дезадаптивный перфекционизм [2]. Нейротизм, в свою очередь, связан с гиперреактивностью лимбической системы и оси гипоталамус-гипофиз-надпочечники, склонностью к руминации и преобладанием избегающих стратегий совладания [3]. Сочетание данных черт создает специфический паттерн реагирования на стресс: с одной стороны, добросовестность побуждает к интенсивной учебной деятельности, с другой – нейротизм усиливает восприятие трудностей и эмоциональную напряженность.

В психофизиологической литературе нервно-психическое истощение рассматривается как состояние прогрессирующего снижения функ-

циональных резервов центральной нервной системы вследствие хронического воздействия стрессоров при недостаточности восстановительных процессов. Данное состояние отличается от простой усталости своей хроничностью, системностью нарушений и тенденцией к самоподдержанию. Особую роль в оценке нервного истощения играют объективные психофизиологические методы, в частности анализ вариабельности сердечного ритма, позволяющий оценить соотношение активности симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы [4].

Несмотря на очевидную актуальность, вопрос о том, как именно сочетание высокой добросовестности и высокого нейротизма влияет на функциональное состояние нервной системы студентов-первокурсников, остается недостаточно изученным. Настоящее исследование призвано восполнить данный пробел.

Мы предположили, что у студентов первого курса с высоким уровнем добросовестности и высоким уровнем нейротизма возникают более выраженные признаки истощения нервной системы в процессе обучения по сравнению с сокурсниками, имеющими средние и низкие показатели по данным чертам личности.

Таблица 1. Распределение участников по уровням нейротизма (*EPI*, $n = 38$)

Уровень нейротизма	Диапазон баллов	<i>n</i>	%
Низкий	0–7	3	8
Средний	8–11	8	21
Повышенный	12–15	19	50
Высокий	16–24	8	21

Таблица 2. Поведенческие индикаторы истощения нервной системы ($n = 38$)

Показатель	<i>n</i>	%
Нарушение режима сна (нерегулярный сон)	24	63
Жертвование сном ради учебы	19	50
Дневной сон (эпизодический или регулярный)	25	66
Удовлетворительное или плохое самочувствие	14	37

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе Сибирского федерального университета. В исследовании приняли участие 38 студентов первого курса психологического направления подготовки в возрасте от 18 до 21 года.

Для сбора данных использовался комплексный подход, включающий три уровня диагностики. Первый – психодиагностическое тестирование: пятифакторный опросник личности (*NEO-FFI*) – для оценки уровня добросовестности (*Conscientiousness*) как базовой черты личности, личностный опросник Г. Айзенка (*EPI*) – для оценки нейротизма и экстраверсии. Вторым уровнем – блок поведенческих вопросов о режиме и продолжительности сна, субъективном самочувствии, стратегиях поведения при конфликте «задание или сон», а также об учебной успеваемости. Третий – психофизиологическое обследование с использованием аппаратно-программного комплекса *Lotus-pulse*, позволяющего оценить функциональное состояние нервной системы по показателям вариабельности сердечного ритма, индексу напряжения и адаптационному потенциалу. Данный метод дает возможность верифицировать субъективные данные на уровне физиологических маркеров.

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение по уровням нейротизма

и добросовестности: по шкале нейротизма *EPI* среднее значение по выборке составило $M = 12,93$ балла (при теоретическом диапазоне 0–24), что соответствует верхней границе повышенного уровня. Распределение участников по уровням нейротизма представлено в табл. 1.

Таким образом, 71 % участников имеют повышенный или высокий уровень нейротизма. По шкале добросовестности *NEO-FFI* 76 % студентов показали высокий уровень.

Анализ режима сна и поведенческих стратегий

Результаты анализа поведенческих индикаторов представлены в табл. 2. Данные показатели могут рассматриваться как доступные для скрининга маркеры риска.

Установлена прямая зависимость между уровнем нейротизма и нарушениями режима сна: 100 % студентов с высоким нейротизмом не соблюдают регулярный режим сна, тогда как в группе со средним нейротизмом этот показатель составляет 67 %. Данная закономерность подтверждает теоретические положения о взаимосвязи нейротизма и дисфункции сна.

Результаты обследования на аппарате *Lotus-pulse* показали, что у 33 % первокурсников обнаружен низкий уровень по всем психофизиологическим показателям, что говорит о признаках начального истощения нервной системы.

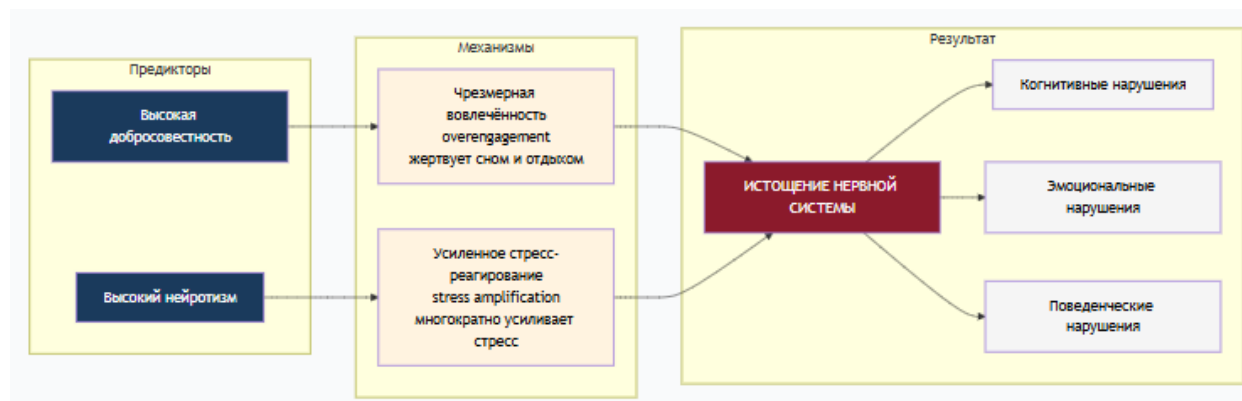


Рис. 1. Модель «токсичного синергизма»: взаимодействие добросовестности и нейротизма как фактор истощения нервной системы

Основная идея настоящего исследования заключается в том, что истощение нервной системы у студентов-первокурсников может быть рассмотрено как закономерный результат деструктивного взаимодействия двух устойчивых личностных черт – высокой добросовестности и высокого нейротизма (рис. 1).

Данное взаимодействие получило в работе условное обозначение «токсичный синергизм», подчеркивающее не просто сумму, а многократное взаимное усиление негативных эффектов.

Схематически предлагаемая модель представлена на рис. 1 и включает три основных блока: предикторы, опосредующие механизмы и результат. В левой части схемы выделены две личностные переменные, выступающие в качестве исходных факторов риска. Верхний блок соответствует высокой добросовестности, которая в операциональном плане описывается через самоорганизацию, ответственность и устойчивую ориентацию на достижение целей.

Нижний блок отражает высокий нейротизм, проявляющийся в эмоциональной нестабильности, генерализованной тревожности и склонности к руминативным процессам – навязчивому возвращению к негативным переживаниям и мыслям о трудностях.

Центральная часть схемы раскрывает два ключевых процесса, через которые реализуется влияние личностных черт на функциональное состояние нервной системы.

Первый механизм – чрезмерная вовлеченность (*overengagement*) – запускается высокой добросовестностью. Студент с такими установками воспринимает учебные требования как безусловные императивы, вкладывает в их

выполнение непропорционально большой объем временных, когнитивных и эмоциональных ресурсов, систематически сокращает время на сон и другие восстановительные практики. В результате формируется устойчивый дефицит ресурсов, при котором организм функционирует в режиме хронической перегрузки.

Второй механизм – усиленное стресс-реагирование (*stress amplification*) – опосредован высоким нейротизмом. Тревожность и руминативные тенденции приводят к тому, что субъективная оценка стрессогенности учебных ситуаций многократно превышает их объективную сложность.

Совместное действие двух описанных механизмов создает эффект взаимного усиления («токсичный синергизм»). Добросовестность продуцирует хроническую функциональную нагрузку на нервную систему, а нейротизм превращает эту нагрузку в эмоционально невыносимую и непрерывно длящуюся, лишая субъекта возможности полноценного психологического и физиологического восстановления. Тем самым формируется замкнутый круг: чем выше требования студента к себе, тем сильнее его тревога, а чем выше тревога, тем больше ресурсов он вынужден тратить на поддержание учебной деятельности. Результат – истощение нервной системы.

Заключение

Предложенная модель объясняет, почему студенты с сочетанием высокой добросовестности и высокого нейротизма оказываются в зоне повышенного риска нервно-психического

истощения уже на первом курсе, обосновывает необходимость адресных профилактических мероприятий [1], ориентированных не на снижение учебных требований, а на формирование

у студентов навыков саморегуляции, осознанного распределения ресурсов и коррекции дезадаптивных установок, связанных с перфекционизмом.

Литература

1. Соловьева, Ю.Г. Возможности формирования медиакомпетенций студентов с помощью цифровых образовательных платформ / Ю.Г. Соловьева, Ю.М. Круглова // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2024. – № 6(159) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/global-scientific-potential/159/g-n-p-6\(159\)-contents.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/global-scientific-potential/159/g-n-p-6(159)-contents.pdf). – EDN: VEWHHV.
2. Hewitt, P.L. Perfectionism in the self and social contexts: Conceptualization, assessment, and association with psychopathology / P.L. Hewitt, G.L. Flett // Journal of Personality and Social Psychology. – 1991. – Vol. 60. – No. 3. – P. 456–470. – DOI: 10.1037/0022-3514.60.3.456. – EDN: HIUNMJ.
3. Gray, J.A. The neuropsychology of anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system : 2nd ed. / J.A. Gray, N. McNaughton. – Oxford : Oxford University Press, 2000. – 424 p.
4. Costa, P.T. Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI-R) and NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI): Professional manual / P.T. Costa, R.R. McCrae. – Odessa, FL : Psychological Assessment Resources, 1992. – 101 p.
5. Schaufeli, W.B. Burnout and engagement in university students: A cross-national study / W.B. Schaufeli, I.M. Martinez, A.M. Pinto [et al.] // Journal of Cross-Cultural Psychology. – 2002. – Vol. 33. – No. 5. – P. 464–481. – DOI: 10.1177/0022022102033005003. – EDN: JNCXOX.

References

1. Soloveva, YU.G. Vozmozhnosti formirovaniya mediakompetentsij studentov s pomoshchyu tsifrovyykh obrazovatelnykh platform / YU.G. Soloveva, YU.M. Kruglova // Globalnij nauchnij potentsial. – SPb. : NTF RIM. – 2024. – № 6(159) [Electronic resource]. – Access mode : [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/global-scientific-potential/159/g-n-p-6\(159\)-contents.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/global-scientific-potential/159/g-n-p-6(159)-contents.pdf). – EDN: VEWHHV.

© М.А. Аникина, В.Н. Бутенко, Т.Г. Авдеева, Е.О. Винник, 2026

ВЗАИМОСВЯЗЬ УСТОЙЧИВОСТИ К КИБЕРБУЛЛИНГУ С САМООЦЕНКОЙ И ЭМОЦИОНАЛЬНЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ У СТУДЕНТОВ-ПЕРВОКУРСНИКОВ

М.А. АНИКИНА, С.А. МАКЕЕВ, Л.М. ТУРАНОВА, А.А. МАШАНОВ

*ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
г. Красноярск*

Ключевые слова и фразы: кибербуллинг; устойчивость к кибербуллингу; самооценка; эмоциональный интеллект; студенты-первокурсники; адаптационный кризис; предикторы уязвимости.

Аннотация: Статья посвящена изучению взаимосвязей между устойчивостью к кибербуллингу и такими социально-психологическими характеристиками личности, как самооценка и эмоциональный интеллект, у студентов-первокурсников в период адаптационного кризиса. Установлена отрицательная корреляция незащищенности от кибербуллинга с уровнем самооценки и межличностным эмоциональным интеллектом. Выявлена наиболее сильная связь между межличностным эмоциональным интеллектом и уязвимостью к цифровой агрессии. Выяснено, что студенты с адекватной самооценкой и развитым эмоциональным интеллектом достоверно реже оказываются незащищенными перед кибербуллингом. В статье обоснована необходимость профилактической работы, направленной на развитие эмоциональной саморегуляции и оптимизацию самооценки.

Введение

Цифровая среда стала неотъемлемой частью жизнедеятельности современной молодежи, существенно расширяя возможности коммуникации, но одновременно порождая новые формы психологического насилия [3; 5; 6]. Кибербуллинг – систематическая агрессия, осуществляемая посредством цифровых технологий, – представляет серьезную угрозу для психологического благополучия обучающихся [1; 2]. Особую уязвимость к данному феномену демонстрируют студенты-первокурсники, находящиеся в периоде адаптационного кризиса, когда механизмы саморегуляции и внутренняя опора еще не сформированы в полной мере. Вместе с тем существующие отечественные исследования преимущественно изучают распространенность кибербуллинга среди школьников, тогда как социально-психологические факторы устойчивости к нему у студентов вузов остаются недостаточно изученными.

Цель исследования – выявить наличие, направленность и силу взаимосвязей между

устойчивостью к кибербуллингу и комплексом социально-психологических характеристик личности (самооценкой, эмоциональным интеллектом) у студентов-первокурсников.

Гипотезы исследования: мы предположили, что между устойчивостью к кибербуллингу и уровнем самооценки существует статистически значимая отрицательная связь, чем выше самооценка, тем ниже незащищенность от кибербуллинга и эмоционального интеллекта, в особенности его межличностный компонент выступает значимым предиктором устойчивости к кибербуллингу, а студенты с адекватной самооценкой и развитым эмоциональным интеллектом демонстрируют достоверно более высокие показатели защищенности от кибербуллинга.

Организация и методы исследования

Эмпирическое исследование выполнено в рамках количественного корреляционного дизайна. Выборку составили 30 студентов-первокурсников психологического и психолого-педа-

Таблица 1. Корреляции незащищенности от кибербуллинга с показателями самооценки и эмоционального интеллекта (ρ -Спирмена, $N = 30$)

Показатель	R незащищенных	p
Межличностный ЭИ	-0,941	< 0,001**
Внутриличностный ЭИ	-0,876	< 0,001**
Уверенность в себе	-0,840	< 0,001**
Понимание эмоций	-0,832	< 0,001**
Внешность	-0,002	< 0,001**
Уровень самооценки (общий)	-0,074	< 0,001**
Управление эмоциями	-0,531	< 0,01*

Примечание: ** $p < 0,001$; * $p < 0,01$

Таблица 2. Сравнение показателей самооценки и эмоционального интеллекта у защищенных и незащищенных студентов (U -критерий Манна – Уитни)

Показатель	Защищенные ($M \pm SD$)	Незащищенные ($M \pm SD$)	p
Уровень самооценки	78,36 $\pm$ 6,41	48,32 $\pm$ 11,36	< 0,001
Уверенность в себе	80,91 $\pm$ 6,64	52,47 $\pm$ 12,51	< 0,001
Межличностный ЭИ	6,91 $\pm$ 1,04	3,53 $\pm$ 1,07	< 0,001
Внутриличностный ЭИ	7,45 $\pm$ 1,21	4,63 $\pm$ 1,07	< 0,001
Управление эмоциями	6,82 $\pm$ 1,47	5,37 $\pm$ 1,34	< 0,001

Примечание: различия статистически значимы при $p < 0,001$

гогического направлений подготовки в возрасте 17–18 лет (15 юношей и 15 девушек). Сбор данных осуществлялся в апреле–мае 2026 г. на базе Института педагогики, психологии и социологии Сибирского федерального университета (СФУ) путем группового тестирования.

Диагностическая батарея включала три методики, а именно: опросник «Незащищенность от кибербуллинга» В.П. Шейнова для определения степени уязвимости респондентов к психологическому давлению в цифровой среде; методику диагностики самооценки Дембо – Рубинштейн в адаптации А.М. Прихожан для оценки уровня самооценки и уровня притязаний по шкалам: состояние здоровья, умственные способности, характер, авторитет среди сверстников, внешность, уверенность в себе; опросник эмоционального интеллекта «ЭМИн» Д.В. Люсина для диагностики межличностного и внутриличностного эмоционального

интеллекта, а также понимания и управления эмоциями [4]. Статистическая обработка данных проводилась с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (ρ) и U -критерия Манна – Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам диагностики опросника НК-22 установлено, что 63,33 % студентов-первокурсников (19 человек) оказались не защищены от кибербуллинга, тогда как лишь 36,67 % (11 человек) продемонстрировали устойчивость к данному феномену. Гендерный анализ показал, что в группу незащищенных вошли 9 юношей и 10 девушек, тогда как в группу защищенных – 6 юношей и 5 девушек. Таким образом, проблема кибербуллинга затрагивает студентов обоего пола практически в равной степени, с незначительным преобладанием девушек в

группе риска. Полученные данные свидетельствуют о высокой распространенности уязвимости среди первокурсников и подтверждают актуальность проблемы.

Полученные корреляции показывают: чем выше уровень самооценки и эмоционального интеллекта студента, тем ниже его незащищенность от кибербуллинга. Наиболее сильные связи обнаружены с межличностным эмоциональным интеллектом ($\rho = -0,941$) и уверенностью в себе ($\rho = -0,840$). Отрицательный знак коэффициентов указывает на обратную направленность связи: рост одного показателя сопровождается снижением другого.

Для верификации гипотезы было проведено сравнение двух групп студентов – защищенных ($n = 11$) и незащищенных ($n = 19$) от кибербуллинга – по критерию Манна – Уитни (табл. 2).

Как видно из табл. 2, по всем показателям самооценки и эмоционального интеллекта защищенные студенты демонстрируют достоверно более высокие средние значения на уровне значимости $p < 0,001$. Это означает, что вероятность случайности полученных различий составляет менее 0,1 %, то есть различия являются статистически достоверными.

Полученные результаты позволяют интерпретировать адекватную самооценку и развитый эмоциональный интеллект как важные предикторы устойчивости к кибербуллингу. Студенты с высокими показателями самооценки реже становятся жертвами кибербуллинга, поскольку они лучше отделяют агрессивные выпады в сети от собственной идентичности и обладают внутренней опорой. Развитый межличностный эмоциональный интеллект позволяет им точнее распознавать агрессивные намерения в цифровой среде, понимать, что целью агрессора является вызов негативных эмоций, и эффективно управлять своими эмоциональными реакциями.

На основании полученных результатов обоснована необходимость комплексной психолого-педагогической профилактики, направленной не на ограничение экранного времени, а на развитие ключевых личностных ресурсов.

Студентам рекомендуется формировать навыки саморегуляции и конструктивного взаимодействия, повышая самооценку через фиксацию собственных достижений и практику отделения эмоциональной реакции от цифровых провокаций.

Важным элементом профилактики является информационно-просветительская работа: размещение методических памяток и рекомендаций по развитию устойчивости к цифровой агрессии на официальных сайтах вуза и в образовательных мессенджерах. В перспективе на основе выявленных предикторов уязвимости планируется разработка специализированных цифровых тренажеров для отработки навыков адаптивного реагирования в онлайн-среде.

Заключение

Адекватная самооценка и развитый эмоциональный интеллект выступают значимыми предикторами устойчивости к кибербуллингу у студентов-первокурсников в период адаптационного кризиса. Выявлена статистически значимая отрицательная связь между незащищенностью от кибербуллинга и уровнем самооценки ($\rho = -0,820$; $p < 0,001$), а также эмоциональным интеллектом ($\rho = -0,941$; $p < 0,001$) студентов-первокурсников. Наиболее сильные связи обнаружены с межличностным эмоциональным интеллектом и уверенностью в себе, что указывает на ключевую роль именно этих характеристик в формировании устойчивости к кибербуллингу. Студенты с адекватной самооценкой и развитым эмоциональным интеллектом достоверно реже оказываются уязвимыми к кибербуллингу ($p < 0,001$). Выявленная высокая распространенность незащищенности от кибербуллинга (63,33 % первокурсников) указывает на необходимость систематической диагностики и разработки профилактических программ в вузе. Приоритетной мишенью профилактических вмешательств является развитие эмоциональной саморегуляции и оптимизация самооценки, в перспективе – создание цифровых тренажеров для формирования навыков противодействия кибербуллингу.

Литература

1. Бочавер, А.А. Кибербуллинг: травля в пространстве современных технологий / А.А. Бочавер, К.Д. Хломов // Журнал Высшей школы экономики. – 2014. – № 3. – С. 177–191. – EDN: TWHXXF.

2. Бобченко, Т.Г. Особенности эмоционального интеллекта подростков, подвергающихся викализации в отношениях со сверстниками / Т.Г. Бобченко, А.В. Нефедова // Глобальный научный потенциал. – 2026. – № 5-1(182) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/global-scientific-potential/182/g-n-p-5\(182\)-tom1-contents.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/global-scientific-potential/182/g-n-p-5(182)-tom1-contents.pdf).
3. Солдатова, Г.У. Виды киберагрессии: опыт подростков и молодежи / Г.У. Солдатова, Е.И. Рассказова, С.В. Чигарькова // Национальный психологический журнал. – 2020. – № 2(38). – С. 3–20. – DOI: 10.11621/npj.2020.0201. – EDN: YJIBIE.
4. Люсин, Д.В. Опросник «ЭМИн» на измерение эмоционального интеллекта / Д.В. Люсин // Эмоциональный интеллект: феномен, диагностика, исследования. – М. : Институт психологии РАН, 2004. – С. 128–148.
5. Шейнов, В.П. Буллинг. Феномен, причины, следствия, профилактика / В.П. Шейнов. – М. : Издательские решения, 2019. – 240 с.
6. Gámez-Guadix, M. Cyberbullying and traditional bullying in adolescence / M. Gámez-Guadix, I. Orue, P.K. Smith, E. Calvete // Computers in Human Behavior. – 2013. – Vol. 29. – No. 6. – P. 2460–2467.

References

1. Bochaver, A.A. Kiberbulling: travlya v prostranstve sovremennykh tekhnologij / A.A. Bochaver, K.D. Khlomov // Zhurnal Vysshej shkoly ekonomiki. – 2014. – № 3. – S. 177–191. – EDN: TWHXXF.
2. Bobchenko, T.G. Osobennosti emotsionalnogo intellekta podrostkov, podvergayushchikhsya viktimizatsii v otnosheniyakh so sverstnikami / T.G. Bobchenko, A.V. Nefedova // Globalnij nauchnij potentsial. – 2026. – № 5-1(182) [Electronic resource]. – Access mode : [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/global-scientific-potential/182/g-n-p-5\(182\)-tom1-contents.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/global-scientific-potential/182/g-n-p-5(182)-tom1-contents.pdf).
3. Soldatova, G.U. Vidy kiberagressii: opyt podrostkov i molodezhi / G.U. Soldatova, E.I. Rasskazova, S.V. Chigarkova // Natsionalnij psikhologicheskij zhurnal. – 2020. – № 2(38). – S. 3–20. – DOI: 10.11621/npj.2020.0201. – EDN: YJIBIE.
4. Lyusin, D.V. Oprosnik «EmIn» na izmerenie emotsionalnogo intellekta / D.V. Lyusin // Emotsionalnij intellekt: fenomen, diagnostika, issledovaniya. – M. : Institut psikhologii RAN, 2004. – S. 128–148.
5. SHEjnov, V.P. Bulling. Fenomen, prichiny, sledstviya, profilaktika / V.P. SHEjnov. – M. : Izdatelskie resheniya, 2019. – 240 s.

АДАПТАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ УПРАЖНЕНИЙ СФЕРЫ ЛЫЖНОЙ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ СО СТУДЕНТАМИ В ВУЗЕ

К.С. АНУФРИЕВ, Н.В. ДАНИЛОВА

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева»,
г. Саранск

Ключевые слова и фразы: физическая культура; лыжная подготовка; специальные упражнения; здоровый образ жизни; студенчество.

Аннотация: Данное исследование направлено на рассмотрение специализированных упражнений из лыжного спорта и их внедрение в программу занятий по физической культуре в вузах. Также акцентируется внимание на привлечении студентов к здоровому образу жизни и мотивации к занятиям по физической культуре посредством развития специальных тренировок.

В работе приводится классификация тренировочных элементов из лыжного спорта для интеграции в учебный процесс.

Целью данного исследования является разработка и апробация методологии специализированных упражнений из сферы лыжного спорта для качественного и безопасного их интегрированного применения на занятиях по физической культуре в вузе.

Задачи исследования: рассмотреть процесс проведения лыжной подготовки со студентами; изучить основные проблемы, возникающие во время тренировочных процессов; найти и дать характеристику специализированным упражнениям из сферы лыжного спорта; разработать типологию специализированных упражнений для демонстрации их студентам; провести эксперимент, исследовав их реакцию и развитие физических и технических навыков при прохождении контрольной дистанции.

Гипотеза исследования: наше исследование предполагает, что внедрение специфических лыжных упражнений в курс физической культуры позволит студентам достичь более высокого уровня физической формы, отточить свою лыжную технику и сформировать стойкую мотивацию к регулярным занятиям физической культурой.

Методы исследования: анализ литературы, эксперимент, наблюдение.

Современная ситуация в сфере высшего образования диктует необходимость внедрения пересмотренных стандартов в области физического воспитания студентов в рамках дисциплины «Физическая культура». Это происходит путем развития не только физической подготовки, но и поиска современных методик, которые помогают развить полезные навыки у личности. В ситуации дефицита двигательной активности у современной молодежи уникальное значение приобретает поиск и использование эффективных методов физической культуры, способных интегрироваться в образовательный процесс

вузов.

По словам отечественных исследователей, «на занятиях по дисциплине «Физическая культура» в высших учебных заведениях решаются важные задачи, которые направлены на укрепление здоровья студентов, их физическую подготовку и формирование здорового образа жизни» [2].

Лыжная подготовка в университетах считается необходимым разделом в программе физической культуры и спорта, который способствует развитию физических и нравственных качеств студентов во время учебного процесса.

Следовательно, перед нами встает актуальный вопрос об адаптации специализированных тренировок из сферы лыжного спорта на занятиях по физической культуре в вузах.

Как утверждают отечественные ученые, «катание на лыжах полезно для здоровья, оно способствует укреплению опорно-двигательного аппарата, помогает выработать быстроту, ловкость и выносливость» [1].

Для консолидации элементов лыжного спорта в занятиях по физической культуре применяются тренировки как в спортзалах, так и на стадионах при благоприятных климатических условиях. Такие тренировочные процессы необходимы для развития физических навыков и преодоления определенных дистанций, а также формирования технической составляющей.

Среди них можно выделить шаговую имитацию хода, которая развивает координационные навыки, укрепляет мышцы ног и спины; прыжковую имитацию, способную развить взрывную силу и выносливость; имитацию бешажного хода, благодаря которой происходит укрепление плечевого пояса и спины.

По словам некоторых ученых, «средствами тренировки являются физические упражнения, которые способствуют кондиционной подготовке и совершенствованию двигательной координации» [3].

Первую группу упражнений составляют имитационные элементы, благодаря которым происходит воспроизведение ключевых движений лыжника без инвентаря. Данные упражнения способствуют развитию техники. Сюда входят поочередная работа руками и ногами, осуществление движений в упоре лежа с поочередным подтягиванием коленей груди (планка), выпады и прыжки с переносом веса тела с одной ноги на другую.

Вторая группа состоит из упражнений, развивающих силу и выносливость. Здесь можно использовать упражнения с дополнительным весом, выпрыгивания, приседания, круговые тренировки, а также бег на длинные дистанции в помещении или на стадионе.

Третью группу упражнений составляют специальные элементы для развития техники передвижения и безопасности. К данным элементам относятся обучение падению на бок с разведением рук в стороны, маневр с разворотом на месте, различные маховые упражнения и повороты на лыжах.

На базе Мордовского государственного

университета имени Н.П. Огарева был проведен эксперимент, который продлился около 3-х месяцев. Участниками исследования стала группа из 25 студентов. Перед нами стояла задача за определенное время обучить студентов правильной технике лыжного шага, соблюдая основы безопасности. В данном исследовании программа подготовки включала в себя следующие фазы.

Во-первых, подготовительный этап (3 занятия). На данном этапе студентам было предложено ознакомление с инструктажем по технике безопасности, разбор и подбор инвентаря по размеру, общеразвивающие упражнения, бег, растяжка и т.д. Важно отметить, что во время подготовки студентов увеличивать нагрузку необходимо постепенно, чтобы избежать переутомления и травм. Также активно используются занятия по теоретическим аспектам и основам лыжного спорта.

В ходе самого первого занятия студентам были оглашены основные правила техники безопасности катания на лыжах, а именно:

- а) инструктаж и проверка экипировки;
- б) трасса безопасна, без пересечений с дорогами;
- в) интервал между студентами должен составлять 3–4 м;
- г) категорически запрещен выход из строя;
- д) преподаватель находится на дистанции вместе со студентами.

Во-вторых, ключевой этап (4 занятия). На данном этапе мы приступили к практической части подготовки. На дистанции были проанализированы как теоретически, так и практически классические и коньковые ходы, имитационные упражнения без лыж. Упражнения для развития силы, координации и выносливости также были выполнены как в помещении, так и на открытом воздухе.

В-третьих, заключительный этап (2 занятия). На данном этапе осуществлялось контрольное прохождение дистанции (2 км), в ходе которого была дана оценка техники и временных показателей. В процессе прохождения дистанции некоторые участники использовали коньковый ход, что стало большим преимуществом перед остальными.

Начальный этап подготовки характеризовался посредственным уровнем владения лыжными навыками. Большинство студентов испытывали проблемы с технической составляющей, а именно отталкиванием и правильным ходом

по специальной разметке. Также недочеты наблюдались в подборе лыж и экипировке: некоторые студенты посещали занятия без перчаток, шапок и т.д.

По итогам проведенного эксперимента на протяжении трех месяцев нами было установлено следующее:

а) во время прохождения дистанции у 10 участников наблюдалась правильная техника классического хода, из которых трое проходили коньковым ходом;

б) 20 человек смогли пройти дистанцию за назначенное преподавателем время, что доказы-

вает хороший уровень развития выносливости;

в) к третьему занятию все участники эксперимента стали правильно экипироваться и подбирать лыжи, а также дисциплинированно передвигаться по дистанции.

Таким образом, активное внедрение упражнений из сферы лыжного спорта в физическую культуру в вузах является необходимым процессом в системе современного образования. Эксперимент показал, что студенты, занимающиеся по специализированному плану подготовки, проявляют больший интерес к занятиям физической культуры.

Литература

1. Григорян, М.Н. Современные методы тренировки спортсменов-лыжников / М.Н. Григорян, Н.А. Пичуев, Т.А. Трифоненков // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах. – Красноярск. – 2021. – Т 3. – С. 1360–1362. – EDN: ESAKNH.
2. Канапина, Р.Б. Применение игрового метода на занятиях со студентами вуза по лыжной подготовке / Р.Б. Канапина, Ф.И. Собянин, В.С. Аванесов, А.С. Леонтьев, Д.С. Гасюк, А.А. Pokotilova // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 6. – С. 153–159. – DOI: 10.17513/snt.38714. – EDN: OBOQDE.
3. Коломейцева, Е.Б. Обучение студентов технике лыжных ходов на основе имитационных и специально-подготовительных упражнений / Е.Б. Коломейцева, Н.Н. Гуськова, Н.П. Ноговицина, П.А. Новиков // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2018. – № 5. – С. 125–128. – EDN: XTFYPZ.

References

1. Grigoryan, M.N. Sovremennye metody trenirovki sportsmenov-lyzhnikov / M.N. Grigoryan, N.A. Pichuev, T.A. Trifonenkov // Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki : Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj Dnyu kosmonavtiki. V 3-h tomah. – Krasnoyarsk. – 2021. – T 3. – S. 1360–1362. – EDN: ESAKNH.
2. Kanapina, R.B. Primenenie igrovogo metoda na zanyatiyah so studentami vuza po lyzhnoj podgotovke / R.B. Kanapina, F.I. Sobyenin, V.S. Avanesov, A.S. Leont'ev, D.S. Gasyuk, A.A. Pokotilova // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2021. – № 6. – S. 153–159. – DOI: 10.17513/snt.38714. – EDN: OBOQDE.
3. Kolomejceva, E.B. Obuchenie studentov tekhnike lyzhnyh hodov na osnove imitacionnyh i special'no-podgotovitel'nyh uprazhnenij / E.B. Kolomejceva, N.N. Gus'kova, N.P. Nogovicina, P.A. Novikov // Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta. – 2018. – № 5. – S. 125–128. – EDN: XTFYPZ.

© К.С. Ануфриев, Н.В. Данилова, 2026

ИНТЕРВЬЮИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕРОЕВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РОМАНА-ЭПОПЕИ Л.Н. ТОЛСТОГО «ВОЙНА И МИР»

А.А. БУДИЩЕВА, Н.И. НИКОНОВА

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
г. Якутск

Ключевые слова и фразы: диалогические технологии; интервьюирование; роман-эпопея; характеристика героя.

Аннотация: Целью статьи является изучение интервьюирования как средства характеристики героев романа-эпопеи «Война и мир» Л.Н. Толстого в 10 классе. В качестве задач выделено: рассмотрение методических особенностей организации интервью как диалогической технологии; обобщение результатов педагогического эксперимента. Гипотеза исследования предполагает, что интервьюирование позволяет перейти от монологической модели усвоения материала к диалогической, в рамках которой знание формируется в процессе смыслового взаимодействия обучающихся. В ходе исследования использованы методы: анализ методической литературы, систематизация практического материала. Исследование показало, что использование интервью на уроках литературы способствует более глубокому личностному пониманию внутреннего мира героев, развитию коммуникативных и аналитических навыков школьников.

Изучение романа-эпопеи «Война и мир» в современной школе сопровождается рядом методических трудностей, обусловленных как особенностями самого произведения, так и изменением читательских практик обучающихся. Масштабность художественного мира Л.Н. Толстого, сложность философской проблематики, многоплановость системы образов и тонкий психологизм затрудняют полноценное понимание текста старшеклассниками, формируя у них фрагментарное и поверхностное представление о характерах героев. Особое значение на современном этапе обучения литературе приобретает использование диалогических технологий обучения, позволяющих перевести процесс анализа из плоскости воспроизведения знаний в сферу смыслообразования. В этом контексте интервьюирование как средство анализа художественного произведения имеет значительный методический потенциал, поскольку моделирует ситуацию живого общения с персонажем, требует от учащихся не только знания текста, но и способности к эмпатическому

«вживанию» в образ, реконструкции его внутреннего мира и мотивации поступков.

На протяжении всего XX в. подходы к преподаванию романа Л.Н. Толстого «Война и мир» постоянно менялись. Учителя-словесники предлагали самые разные системы уроков, выдвигая на первый план то одни темы, то отдельные эпизоды или проблемные вопросы. Те методы и приемы, которые показали свою состоятельность и дали хорошие результаты, сегодня активно используются учителями литературы.

К примеру, З.Я. Рез, разбирая образ эпического героя, советует рассматривать персонажа «в единстве с действием, помня о том, что образ всегда несет в себе авторскую оценку» [2, с. 185]. По ее мнению, в старших классах важно сместить фокус: вместо того чтобы просто следить за поступками героя, нужно обсуждать его нравственную позицию, отношение автора и делать обобщения. Хороший вопрос, подводящий ученика к личному осмыслению, может звучать так: «Чем мне дорог Андрей Бол-

конский?» или «Когда я спорю, а когда я соглашаюсь с ...?».

А.А. Тиховодов убежден, что при изучении романа «самым главным является характеристика героев, что предполагает последовательное изложение материала и точный отбор эпизодов для анализа». Для этого он предлагает читать произведение по частям и томам, вынося на обсуждение в классе ключевые сцены, раскрывающие характеры: «Батарея Тушина», «Сватовство в доме Болконских», «Дуэль Пьера с Долоховым и ее последствия», «Переживания Наташи, увлечение Анатолем», «Последний день Ростовых в Москве» и др. [4, с. 116].

Урок, построенный по разработкам Г. Фетфиловой, предполагает «активацию познавательной деятельности учащихся через сравнение образов женщин в романе с женскими образами, которые выступают в роли «идеальных» у И.С. Тургенева, А.С. Пушкина, с произведениями которых обучающиеся знакомились раньше» [1, с. 228].

Сегодняшние приемы анализа образов героев «Войны и мира» делают ставку на интерактив, наглядность и цифровые инструменты. В ходу сетевой анализ персонажей (построение графа связей) (Д.А. Скоринкин), создание цифровых профилей героев (Ю.И. Богатырева), интерактивные дискуссии, а также сравнительные таблицы для отслеживания «диалектики души». Ученые все чаще делают акцент на том, как сам читатель (ученик) интерпретирует образы героев. Из всего сказанного очевидно: поиск эффективных способов, приемов и методов анализа персонажей толстовского романа идет интенсивно уже много лет и продолжается по сей день.

В рамках нашего исследования интервью используется как аналитический инструмент: через прямую речь персонажа можно глубоко раскрыть его характер, систему ценностей, внутренний мир и мотивы поступков. «В литературе этот прием часто принимает творческую форму диалога или имитации «портретного интервью», фокусируясь на личных качествах героя, его биографии и мировоззрении, что позволяет по-другому переосмыслить произведение» [3, с. 106].

Ключевое правило организации такого интервью – предварительное серьезное погружение школьников в ткань произведения. Полное погружение в образ литературного героя требует тщательного исследования его речевых обо-

ротов, поступков, мировоззрения и внутренних мотивов. Не менее важна точность в передаче роли: говоря от лица персонажа, ученик должен транслировать его точку зрения, а не свою, строго следуя авторскому тексту. Это упражнение оттачивает навыки интерпретации и учит разделять личные впечатления от книги и ее художественную структуру. Отдельного внимания заслуживают вопросы, адресованные герою. Они должны не просто проверять знание сюжета, а стимулировать размышления о его психологии, моральных принципах и философских взглядах. Наилучший эффект дают проблемные и аналитические вопросы, побуждающие персонажа обосновывать свои решения, выражать отношение к происходящему и раскрывать свои главные ценности. Важно также обеспечить свободное общение и взаимную реакцию участников в процессе интервью.

Ценность этой методики в том, что старшеклассники не просто учатся разбирать текст, но и тренируются строить аргументированные высказывания, держать логику диалога, отвечать собеседнику и грамотно отстаивать свою трактовку.

С целью проверки эффективности интервьюирования как средства характеристики литературных героев был организован педагогический эксперимент на базе 10 класса с профилями подготовки «Лингвистический» и «Прикладная лингвистика» в Специализированном Учебно-научном центре – Университетский лицей Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Ребята работали в парах: один из участников представлял определенного персонажа романа-эпопеи и отвечал на вопросы от его имени, второй выполнял роль интервьюера, выстраивая систему вопросов. Обучающиеся работали с текстом индивидуально, заполняя таблицу по критериям: портрет персонажа, его поступки, взаимоотношения с семьей и окружающими, нравственные ориентиры. Эксперимент осуществлялся после проведения 10 программных уроков в рамках одного занятия. Всего участвовало 11 пар.

Содержательная структура вопросов свидетельствовала о стремлении учащихся выйти за пределы поверхностного анализа и сосредоточиться на внутренних мотивах героев, их эмоциональном состоянии, нравственном выборе и духовной эволюции. Например, вопросы к Элен Курагиной были направлены на то, как оценивать личность с точки зрения морали

и как светское общество формирует характер. Многие спрашивали о ее внутреннем мире и отношении к собственной судьбе: «Вы чувствуете себя счастливой?», «Если бы у вас была возможность изменить что-то в своей жизни, вы бы сделали это?». Исходя из этих вопросов, следует, что обучающиеся пытались понять не только внешний блеск Элен, но и причины ее душевной пустоты, а также то, как высший свет формирует личность героини.

Интервью с Марьей Болконской почти полностью было посвящено нравственной и философской стороне ее натуры. Ученики спрашивали: «Ваша доброта и терпение – это врожденные качества или результат воспитания?»; «Ваша жизнь не всегда была легкой. Что помогало вам не терять силы духа?»; «Как вы понимаете настоящую любовь?». Если проанализировать эти вопросы, становится ясно: ученики видят в Марье пример внутренней стойкости и нравственной чистоты.

Вопросы к Пьеру Безухову можно сгруппировать вокруг философских и мировоззренческих тем – учеников интересовали его духовные метания и то, как он переживал жизненные удары: «Вы прошли через масонство, войну и плен. Что изменило вас сильнее всего?»; «После всех событий в вашей жизни удалось ли вам найти ответ на главный вопрос о смысле жизни?»; «Вы часто сомневаетесь в себе. Считаете ли вы это слабостью?». А вопрос «Что для вас любовь?» показывает стремление старшеклассников разобраться не только в мыслях Пьера, но и в его чувствах. Характер этих вопросов показывает, что герой воспринимается школьниками как человек, который никогда не прекращает искать себя духовно.

Вопросы, которые задавали Андрею Болконскому, в основном касались его внутренних кризисов и того, как он заново пересматривал свои жизненные ориентиры. Школьники спрашивали: «Вы участвовали в войне. Что было самым трудным для вас?»; «Есть ли момент из вашей жизни, который изменил ваше мировоззрение?»; «Если бы вы могли поговорить со своим прошлым “я”, что бы вы ему сказали?». Особенно показателен вопрос: «Как Наташа Ростова повлияла на вас?» – он подтверждает, что ученики понимают, какую роль сыграла любовь в душевном росте этого героя. А вопрос «Как вы думаете, что делает человека по-настоящему счастливым?» говорит о том, что обучающиеся пытаются выйти на философское осмысление

романа.

Интервью с Наташей Ростовой получилось эмоциональным по своей сути. Школьники обращались к самым тяжелым, драматичным страницам ее жизни: «Вы пережили страшные месяцы. Как вы держитесь?»; «Князь Болконский... вы были с ним в конце?». Особого внимания заслуживает вопрос: «Вы жалеете, что потеряли в себе ту беззаботную и юную Наташу, которой вы были в начале произведения?». Следует, что учащиеся пытаются разобраться в том, как человек взрослеет внутренне и как жизненные испытания меняют личность. А вопрос о том, почему Наташа решила отдать подводы раненым, доказывает, что школьники уважают нравственный выбор героини и ее умение сострадать.

Непосредственно во время проведения интервью в классе наблюдалась высокая степень эмоциональной и интеллектуальной вовлеченности обучающихся в работу. Многие школьники стремились передать особенности речевой манеры персонажа, его эмоциональное состояние и индивидуальный характер.

Так, при исполнении роли Андрея Болконского ответы учащихся отличались сдержанностью и философской направленностью («Я бы сказал себе не гнаться за славой. Гораздо важнее ценить жизнь и людей рядом»), тогда как в образе Наташи Ростовой преобладала эмоциональность и непосредственность («А как иначе? Там же люди! Наши, русские. Я помню, как Андрей... князь Андрей лежал среди них. Я тогда не думала, я просто закричала на маменьку. Прости, Господи. Но разве можно было иначе?»).

Ученицы, которые выбрали образ Элен Курагиной, постарались передать ее поверхностность и беззаботность. Например, их героиня легко и непринужденно говорила: «Ах, душа моя, как вы любезны. Я с большой радостью приняла ваше приглашение...Репутация? Репутация – это как платье: сегодня восхищает, а завтра кто-то скажет, что фасон устарел». Такое органичное «перевоплощение» помогло им глубже прочувствовать психологизм толстовского романа и выработать собственное отношение к персонажам.

Результаты эксперимента показали, что большинство учеников сумели уйти от примитивных, поверхностных характеристик и сосредоточиться на том, что творится внутри героев. В своих интервью школьники затрагивали нрав-

ственные искания персонажей, анализировали, почему те поступают так, а не иначе, искали внутренние конфликты и прослеживали духовные изменения. Учащиеся заметно чаще начали опираться на цитаты, ключевые сцены и авторские детали – чтобы обосновать достоверность ответов от лица героя. В некоторых интервью даже появились элементы внутреннего монолога, попытки объяснить противоречивость поступков персонажа и осмыслить моральные проблемы романа через призму восприятия самого героя. Это говорит о том, что интервьюирование способствовало формированию эмпатического подхода к изучению художественного текста и развитию навыков интерпретации.

Вместе с тем анализ письменных работ позволил выявить и определенные трудности. Отдельные ответы содержали элементы субъективной оценки, не всегда подтвержденной текстом романа («Я был слишком мягким. Она была такая прекрасная, все вокруг говорили, что мы отличная пара. Я как будто был в тумане и ничего не понимал. Знаете, бывает такое – все решают за тебя, а ты просто киваешь»),

из интервью с Пьером Безуховым). Однако даже в подобных случаях наблюдалась более высокая степень самостоятельности мышления по сравнению с традиционными письменными характеристиками персонажей.

Таким образом, интервьюирование позволило создать образовательную ситуацию, в которой школьники выступали не пассивными потребителями информации, а активными участниками процесса литературного анализа. Это обеспечивало более личностное восприятие произведения и способствовало формированию эмоционально-ценностного отношения к художественному миру романа. Также было отмечено развитие навыков речевого взаимодействия: учащиеся учились формулировать содержательные вопросы, поддерживать логику беседы и реагировать на ответы собеседника. Результаты педагогического эксперимента свидетельствуют о целесообразности использования интервьюирования в практике преподавания литературы как одного из средств формирования глубокого и осмысленного понимания художественного образа.

Литература

1. Литература. 10 класс. Планы-конспекты для 105 уроков : учебно-метод. пособие / под ред. Г. Фефиловой. – М. : АСТ, 2016. – 445 с.
2. Методика преподавания литературы : учебник для студентов / под ред. З.Я. Рез. – М. : Просвещение, 1985. – 368 с.
3. Телевизионная журналистика / под ред. Г.В. Кузнецова, В.Л. Цвик, А.Я. Юровского. – М. : Высшая школа, 2002. – 299 с.
4. Тиховодов, А.А. Творчество Л.Н. Толстого в школьном изучении / А.А. Тиховодов. – Горький : Волго-Вятское кн. изд-во, 1972. – 269 с.

References

1. Literatura. 10 klass. Plany-konspekty dlya 105 urokov : uchebno-metod. posobie / pod red. G. Fefilovoj. – M. : AST, 2016. – 445 s.
2. Metodika prepodavaniya literatury : uchebnik dlya studentov / pod red. Z.YA. Rez. – M. : Prosveshchenie, 1985. – 368 s.
3. Televizionnaya zhurnalistika / pod red. G.V. Kuznecova, V.L. Cvik, A.YA. YUrovskogo. – M. : Vysshaya shkola, 2002. – 299 s.
4. Tihovodov, A.A. Tvorchestvo L.N. Tolstogo v shkol'nom izuchenii / A.A. Tihovodov. – Gor'kij : Volgo-Vyatskoe kn. izd-vo, 1972. – 269 s.

© А.А. Будищева, Н.И. Никонова, 2026

СТИЛЬ ПРЕПОДАВАНИЯ КАК ОСНОВА СТАНОВЛЕНИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО КЛИМАТА В КЛАССЕ

А.И. ГОРБУНОВА, Н.А. МОСИНА

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный педагогический университет
имени В.П. Астафьева»,
г. Красноярск

Ключевые слова и фразы: коммуникативная толерантность; социально-психологический климат; стратегии поведения в конфликте; субъект-субъектные отношения; стиль преподавания; эмпатия учителя; школьная тревожность.

Аннотация: В статье рассматривается влияние стиля преподавания на психологический климат в классе. Авторы анализируют понятие, причины и последствия дидактогении, уделяется внимание стилям преподавания, их классификации и связи с психологическим состоянием учеников. В проведенном исследовании выявлены зависимости между личностными характеристиками учеников и стилями преподавания их классных руководителей. Цель исследования – выявить влияние личностных характеристик учителя на социально-психологический климат класса с возможным проявлением дидактогенных факторов. Задачи исследования: теоретически обосновать связь личностных характеристик учителя с выбором стилей преподавания, вызывающих дидактогению; провести эмпирическое исследование проявления личностных характеристик в стиле преподавания; описать результаты, сделать выводы и обобщения. Гипотеза исследования: личностные характеристики учителя способствуют такому выбору стиля преподавания, который создает уникальную психологическую среду в классе, но не всегда благополучную, содержащую в себе дидактогенные факторы.

В исследовании приняли участие 87 учеников 3-их классов и их классные руководители. База исследования: МАОУ СШ № 158 «Грани» города Красноярска Красноярского края. Для выявления взаимосвязей использовался прикладной пакет *SPSS 23.0* для статистического анализа, разработанный компанией *IBM*. Для оценки личностных характеристик учителя использовались методики: методика диагностики уровня эмпатических способностей В.В. Бойко; методика диагностики коммуникативной толерантности В.В. Бойко; тест Томаса на определение стилей поведения в конфликте. Для оценки психологического климата в классе использовались методики: «Социометрия» Я.Л. Морено; «Шкала оценки социально-психологического климата в коллективе» (СОПИК) О.С. Михалюк и А.Ю. Шалыто; анкета «Оценка школьной тревожности» Б.Н. Филлипса. В результате проведенной работы были выявлены три взаимосвязи психологического климата в классе от стилей преподавания. Первая: частое использование учителем стратегии приспособления в конфликтных ситуациях приводит к высокому уровню страха самовыражения у учеников. Вторая: страх самовыражения у учеников связан с категоричностью и консерватизмом учителей. Третья взаимосвязь: страх самовыражения у учеников возникает из-за неспособности учителей адаптироваться к их индивидуальным особенностям.

Школьная жизнь – это процесс выстраивания субъект-субъектных отношений ученика с учителем и одноклассниками. Этот процесс всегда сопряжен с успехами и неудачами, которые оцениваются окружающими. И от того, как ребенок реагирует, какое у него складывается

мнение, зависит его эмоциональное состояние. С другой стороны, учитель может поддерживать эмоционально комфортную среду, а может, наоборот, бессознательно ее усугублять. И тогда мы будем наблюдать такое явление, как дидактогения.

«Дидактогения» – это негативное психическое состояние учащегося, вызванное нарушением педагогического такта со стороны воспитателя, педагога, тренера или руководителя. Дидактогенный невроз как неадекватный способ реагирования на те или иные трудности, с которыми сталкивается ученик в учебно-воспитательном процессе.

Дидактогения – многофакторное явление, обусловленное как особенностями личности ученика и учителя, так и негативным воздействием среды. В причинах дидактогении кроется требование высоких результатов, не соответствующих возможностям ученика; в конфликтах учителя с учениками, которые решаются неэкологичным способом; в неуважении к личности ученика и отсутствии эмоциональной поддержки; в формальной деятельности учителя, в наличии социальных проблем у учителя; в попустительстве и непредсказуемости поведения взрослых. У учеников вследствие дидактогении развиваются такие негативные последствия, как деформация Я-концепции, повышенная тревожность, трудности в общении, потеря интереса к учебе и даже агрессивное поведение. Последствия дидактогении могут проявляться как на физическом, так и психологическом уровне, затрагивая различные аспекты жизни человека.

Способность адаптироваться к трудным ситуациям у учеников закладывается в семье. А.М. Прихожан отмечает, что если семья благополучная, и ребенок находит там защиту, то учительница случайными действиями ему не навредит [5]. В зону риска входят ученики, в чьих семьях отсутствует эмоциональное тепло и забота; ученики с преобладанием мотива «я должен учиться» над мотивом «я хочу учиться»; ученики, чья деятельность в большинстве случаев монотонная.

Самое ценное, что может дать для учеников педагог – это уверенность в себе и своем будущем. Когда ученик полон уверенности в своих идеях и поступках, то для него практически нет трудных ситуаций, которые принесут ему психологический дискомфорт или травму. Опытный педагог в силах организовать благоприятную психологическую среду в классе на основе полученного опыта из программ по психопросвещению, направленных на решение данного вопроса. В нашем исследовании идет упор на идеи А.В. Калягина, который подчеркивал, что знание стилей преподавания важно для повы-

шения эффективности обучения, так как преподаватель может лучше понять свои стратегии и выбрать оптимальные методы, и для использования различных стилей во избежание рутины, выгорания, сохранения мотивации учеников и открытия новых педагогических возможностей [3].

Стиль преподавания – индивидуальный подход к реализации педагогического процесса, способ взаимодействия учителя с учениками. Он выражается в стиле педагогического общения, характере его реакции на различные поступки детей и способах психологического и педагогического воздействия [2]. В работе опираемся на классификацию стилей преподавания Курта Левина с доработками Э. Маккоби, Дж. Мартина. Данная классификация включает в себя авторитарный, демократический, либерально-попустительский и индифферентный стили преподавания. Стиль преподавания основан на личных потребностях преподавателя, его профессиональных целях, а также на его личных убеждениях. В деятельности учителя необходимо найти золотую середину в предоставляемой ученикам свободе действия. Неграмотные действия педагога могут привести к двум крайностям: страх учеников перед школой, страх и неумение выражать свою мысль или полное отсутствие дисциплины в классе, неуважение личности педагога и отсутствие мотивации к обучению [4].

Для проведения диагностики проявления дидактогенных факторов в педагогических стилях учителей нам необходимо анализировать две составляющие образовательной экосистемы класса: личность учителя и психологический климат в классе. В исследовании были подобраны критерии оценивания для личности учителя: уровень эмпатии, терпеливость к различным аспектам коммуникации, стиль поведения в конфликте. И для психологического климата в классе подобраны следующие критерии: социальные предпочтения в группе, социально-психологический климат коллектива и тревожность, связанная со школой.

Проведенное исследование показало несколько зависимостей индивидуальных показателей личностных характеристик учеников от показателей индивидуальных стилей преподавания их классных руководителей. Прослеживается зависимость высокого уровня страха самовыражения учеников от частого использования учителем стратегии приспособления

в конфликтных ситуациях. Стратегия приспособления в конфликтных ситуациях, часто используемая учителем с целью отложить конфликт на другое время, чтобы время урока было максимально реализовано продуктивно. Эта стратегия сглаживает конфликт за счет уступок ценой интересов педагога, часто не имеет четкой структуры реагирования на возникшую ситуацию. Ученики могут начать избегать рисков и бояться предлагать новые идеи из-за неуверенности в реакции педагога. Это также может сформировать у них ощущение, что их мнение и действия не важны. Такая стратегия приводит к снижению мотивации учеников к самовыражению. В результате снижается поддержка самостоятельности и креативности, что тормозит развитие учеников.

Также выявлена взаимосвязь страха самовыражения у учеников от категоричности и консерватизма в оценивании со стороны учителя. В большинстве случаев такое оценивание педагоги используют с целью справедливого отношения ко всем ученикам, а также оптимизации учебного процесса. Педагогу необходимо замечать уникальные случаи в его практике и гибко на них реагировать для сохранения благоприятного климата в классе. Жесткие критерии оценки, отсутствие гибкости и диалога, преобладание критики над поддержкой, подавление мотивации к самовыражению, неприятие нестандартных подходов, игнорирование индивидуального стиля и приоритет формы над содержанием – все это снижает творческий потенциал и мотивацию учеников. Жесткие ожидания и страх не соответствовать им усиливают тревожность и пассивность.

И третья взаимосвязь: страх самовыражения от неумения учителя приспособливаться к характеру ученика. В современных условиях, где учителю предстоит работать с 35 ученика-

ми, сложно адаптироваться к характеру всех своих подопечных, на это требуется достаточно много усилий и времени. Ради экономии ресурсов в наполненных классах учителю проще относиться к ученикам одинаково, замечая, но не реагируя на особенности своих учеников. Но универсальные методы обучения лишают своеобразие педагогические подходы и не учитывают различия в темпераменте, потребности в стилях обучения и уровне тревожности. Это вызывает у учеников чувство «неправильности» и блокирует проявление их уникальных качеств, усиливает тревожность и страх самовыражения. Ученики чувствуют себя некомпетентными или неуверенными в обстановке, которая не соответствует их индивидуальным особенностям и потребностям.

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующий вывод: значительное влияние на социально-психологический климат в классе оказывали стратегии поведения классного руководителя в конфликте, а также коммуникативная толерантность. В своей деятельности учителя на основе своих личностных характеристик, представлений и потребностей разработали свои уникальные стили преподавания, подходящие для руководства в их классе. Данное исследование показало, что у любого учителя возникают такие структуры деятельности, как стратегия приспособления в конфликтных ситуациях, категоричность и консерватизм в оценивании, неумение учителя приспособливаться к характеру ученика. Эти элементы деятельности формируются под давлением требований к выполненному плану работы, к оптимизации учебного процесса и длительности разработки идеального стиля преподавания. Но при благих намерениях возникают погрешности, которые напрямую влияют негативным образом на психологический климат в классе.

Литература

1. Елютина, П.А. Особенности проявления конфликтного поведения младших школьников / П.А. Елютина, Н.А. Мосина // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 9(180). – С. 77–80. – EDN: QPZVNI
2. Жукова, Е.В. Педагогическая техника как один из компонентов мастерства преподавателя высшей школы / Е.В. Жукова, И.Г. Погорелова, А.Н. Калягин // Педагогическое образование в Республике Карелия: опыт поколений и перспективы развития. – 2009. – Т. 85. – № 2. – С. 125–126. – EDN: KBXVCH.
3. Калягин, В.А. Внутренняя картина дефекта и дидактогении обучающихся с ограниченными возможностями здоровья / В.А. Калягин, Т.С. Овчинникова // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2020. – № 198. – С. 115–122. – DOI:

10.33910/1992-6464-2020-198-115-122. – EDN: TWICYV.

4. Нагорнова, А.Ю. Основы педагогики и психологии младшего школьника : монография / А.Ю. Нагорнова, Г.М. Денисова, С.А. Карпеев, Г.А. Стрюкова, С.Б. Гнедова, Л.И. Еремина, О.А. Абрамова. – Ульяновск : УлГПУ, 2012. – ISBN: 978-5-86045-494-1. – EDN: RAOHYN.

5. Прихожан, А.М. «Но самое страшное место – у доски» / А.М. Прихожан // Первое сентября. – 2005. – Т. 38. – С. 2.

References

1. Elyutina, P.A. Osobennosti proyavleniya konfliktnogo povedeniya mladshih shkol'nikov / P.A. Elyutina, N.A. Mosina // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 9(180). – S. 77–80. – EDN: QPZBHI

2. Zhukova, E.V. Pedagogicheskaya tekhnika kak odin iz komponentov masterstva prepodavatelya vysshej shkoly / E.V. Zhukova, I.G. Pogorelova, A.N. Kalyagin // Pedagogicheskoe obrazovanie v Respublike Kareliya: opyt pokolenij i perspektivy razvitiya. – 2009. – Т. 85. – № 2. – S. 125–126. – EDN: KBXBCH.

3. Kalyagin, V.A. Vnutrennyaya kartina defekta i didaktogenii obuchayushchihsya s ogranichennymi vozmozhnostyami zdorov'ya / V.A. Kalyagin, T.S. Ovchinnikova // Izvestiya Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gercena. – 2020. – № 198. – S. 115–122. – DOI: 10.33910/1992-6464-2020-198-115-122. – EDN: TWICYV.

4. Nagornova, A.YU. Osnovy pedagogiki i psihologii mladshego shkol'nika : monografiya / A.YU. Nagornova, G.M. Denisova, S.A. Karpeev, G.A. Stryukova, S.B. Gnedova, L.I. Eremina, O.A. Abramova. – Ul'yankovsk : UlGPU, 2012. – ISBN: 978-5-86045-494-1. – EDN: RAOHYN.

5. Prihozhan, A.M. «No samoe strashnoe mesto – u doski» / A.M. Prihozhan // Pervoe sentyabrya. – 2005. – Т. 38. – S. 2.

А.И. Горбунова, Н.А. Мосина, 2026

РОЛЬ ПЛАВАНИЯ В ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИИ СТУДЕНТОВ КАК УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ВУЗА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Н.Н. КЛАДКИН, С.Н. КЛАДКИНА

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
г. Якутск

Ключевые слова и фразы: плавание; студенты; здоровьесбережение.

Аннотация: Цель статьи – определение влияния занятий плаванием как учебной дисциплины на показатели здоровья, физического состояния студентов. Задачи статьи: исследовать влияние систематических занятий плаванием на функциональное состояние дыхательной и сердечно-сосудистой систем студентов; оценить динамику показателей жизненного объема легких, проб Штанге, и Генчи после семестра прохождения дисциплины «Плавание». Гипотеза статьи состоит в предположении о том, что систематические занятия плаванием в рамках учебной дисциплины будут способствовать улучшению функциональных показателей организма студентов, повышению адаптационных возможностей, укреплению дыхательной системы и снижению негативного влияния климатических условий Севера на здоровье обучающихся. Методы исследования: анализ научной и методической литературы; педагогическое наблюдение и эксперимент; функциональные пробы (проба Штанге, Генчи), измерение жизненного объема легких. Достигнутые результаты: представлены результаты, свидетельствующие о положительной динамике показателей жизненного объема легких, проб Штанге и Генчи, что указывает на повышение устойчивости к гипоксии и улучшение адаптационных возможностей организма. Следует вывод о том, что систематические занятия плаванием выступают эффективным инструментом здоровьесбережения в образовательной среде вуза.

Плавание в структуре учебных дисциплин вуза, направленное на здоровьесбережение студентов, особенно значимо для обучающихся в северных регионах, где климатические условия выступают основным фактором, ограничивающим двигательную активность.

Актуальность исследования продиктована спецификой северных территорий, такой как длительный холодный период и низкие температуры, короткий световой день, невозможность или ограниченные возможности для занятий спортом на открытом воздухе, в связи с чем наблюдается общее снижение двигательной активности студентов. В совокупности вышеуказанное повышает риски развития гиподинамии, нарушений опорно-двигательного аппарата, развития проблем с сердечно-сосудистой и дыхательной системами.

В указанных условиях возрастает роль дис-

циплин физкультурно-оздоровительной направленности, среди которых плавание занимает особое место благодаря своему комплексному воздействию на организм. В отличие от других видов физической активности, плавание реализуется в искусственно созданной среде, что позволяет нивелировать влияние неблагоприятных климатических факторов и обеспечивать круглогодичную двигательную активность студентов.

Здесь особое значение приобретает плавание в контексте здоровьесбережения. С позиции теории и методики физического воспитания плавание рассматривается как универсальное средство развития основных физических качеств, таких как сила, выносливость, гибкость и координация движений. Водная среда создает дополнительное сопротивление движениям, что способствует более активной

Таблица 1. Тематический план и содержание учебной дисциплины «Плавание»

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала и формы организации деятельности обучающихся	Результаты обучения
Тема 1. История развития плавания	История развития плавания. Основные направления в развитии плавания. Плавание как жизненно необходимый навык (лекционные занятия)	Формирование теоретических знаний по теме изучения
Тема 2. Виды плавания	Спортивное плавание и водные виды спорта. Профессионально-прикладное плавание. Оздоровительно-реабилитационное плавание. Фитнес (оздоровительное плавание) и кондиционная тренировка. Зрелищно-театрализованные мероприятия и праздники на воде (лекционные занятия)	Формирование теоретических знаний по теме изучения
Темы 3. Основы техники плавания	Биомеханические основы техники плавания. Понятие о технике плавания. Гидростатическое равновесие тела пловца. Силы реакции воды при движении тела. Анализ сил, тормозящих продвижение тела пловца. Общие требования к рациональной технике плавания. Положение тела пловца в воде и движение ногами. Движение руками. Фазовый состав и общее согласование движений (практические занятия)	Реализация нормативов по выполнению практических заданий
Тема 4. Техника спортивного плавания	Техника спортивного плавания. Техника плавания стилем кроль на груди, кроль на спине, брасс и баттерфляй. Общая характеристика способа. Положение тела и движение ногами. Движение руками и дыхание. Открытые и закрытые повороты. Поворот «маятником». Открытый плоский поворот при плавании кролем на груди. Открытый плоский поворот при плавании кролем на спине (практические занятия)	Реализация нормативов по выполнению практических заданий
Тема 5. Основы обучения и тренировки по плаванию	Основы обучения и тренировки. Основные принципы обучения. Задачи и этапы обучения. Программа обучения и определяющие ее факторы. Выбор способа плавания и комплектования учебных групп. Средства и методы обучения и тренировки. ОРУ, подготовительные упражнения для освоения на воде. Учебные прыжки в воду. Игры и развлечения на воде. Словесные методы. Наглядные методы. Практические методы (практические занятия)	Реализация нормативов по выполнению практических заданий
Тема 6. Прикладное плавание	Техника прикладного плавания. Методика обучения прикладному плаванию. Техника ныряния. Приемы освобождения от захватов тонущего. Приемы транспортировки тонущего. Основы прикладного плавания. Плавание в экстремальных условиях. Последовательность действий при спасении тонущих вплавь (зимнее время). Спасательные средства и их применение. Оказание первой помощи при утоплении (практические занятия)	Реализация нормативов по выполнению практических заданий

работе сердечной мышцы и повышению функциональных резервов организма. Так же она оказывает щадящее воздействие на опорно-двигательный аппарат, снижая осевую нагрузку на позвоночник и суставы, что особенно важно для студентов, ведущих преимущественно малоподвижный образ жизни [1].

Плавание в системе физического воспитания вуза выступает как универсальная и адаптивная дисциплина, являясь эффективным ин-

струментом здоровьесбережения студентов.

- Снижает нагрузку на суставы и позвоночник (в отличие от других более травматичных видов спорта), где действие воды уменьшает риск травм и перегрузок.
- Оказывает комплексное воздействие на организм, укрепляя сердечно-сосудистую, дыхательную и мышечную системы.
- Развивает общую выносливость и координацию, что особенно актуально в условиях

низкого уровня общей подготовки.

- Формирует навыки самосохранения, где владение навыками плавания повышает безопасность жизнедеятельности.

Следует отметить, что ряд исследований подтверждает, что занятия плаванием положительно влияют не только на физическое, но и на психическое здоровье студентов, способствуя улучшению эмоционального состояния и повышению устойчивости к стрессовым факторам. В условиях северных регионов повышается уровень психоэмоционального напряжения, связанного с климатическими и социальными факторами. Занятия плаванием способствуют снижению уровня тревожности, улучшению настроения и формированию устойчивости к стрессу [2].

Помимо этого, регулярные занятия плаванием способствуют улучшению кровообращения, нормализации артериального давления и повышению общей выносливости [3].

Не менее значимо влияние плавания на дыхательную систему. Выполнение дыхательных упражнений в условиях водной среды способствует увеличению жизненной емкости легких, улучшению вентиляции и газообмена, что особенно важно в условиях холодного климата [1].

В структуре учебных дисциплин плавание выполняет ряд ключевых функций. Так, профилактическая функция предотвращает развитие гиподинамии, сколиоза и нарушений осанки, ожирения и стрессовых состояний. Адаптационная функция помогает организму адаптироваться максимально к экстремальным климатическим условиям севера. Реабилитационная функция используется для восстановления после заболеваний и снижения функциональных отклонений. Психоэмоциональная функция снижает уровень тревожности, улучшает сон и общее самочувствие.

Авторами статьи проведен ряд исследований, направленных на выявление результатов от реализации учебной дисциплины «Плавание» у студентов СВФУ им. М.К. Аммосова.

Результатом изучения и освоения тем дисциплины «Плавание» выступают выполнение контрольных работ, письменных заданий, тестирования. Помимо указанного, от студентов требуется выполнение нормативов по практическим заданиям.

1. Проплывание дистанции 50 метров в технике «Кроль на груди», «Кроль на спине» и «Брасс» с оцениванием.

2. Умение выполнять старты и повороты при плавании в технике «Кроль на груди», «Кроль на спине» и «Брасс» с оцениванием.

3. Проплывание правильным способом дистанции: мужчины 650 метров и, женщины 250 метров без учета времени. На дистанции разрешается менять техники плавания.

4. Сдача норматива на 50 метров в технике «Кроль на груди» на время.

5. Знать технику освобождения от захватов и транспортировку тонущего.

6. Выполнение приемов искусственного дыхания.

В рамках исследования выборка включает 58 студентов разных факультетов и институтов СВФУ им. М.К. Аммосова. Основная часть студентов 2006–2007 г.р., все мужского пола, 52 студента основной физкультурной группы, то есть без проблем со здоровьем. 6 студентов подготовительной группы. Рост испытуемых от 160 до 185 см.

Изменение показателей жизненного объема легких (ЖЕЛ, в литрах) в начале осеннего семестра и в начале весеннего семестра 2025–2026 уч. г. Выборка (примерно 10 % студентов из общего числа выборки) приведена в табл. 2.

Изменения отражают положительную динамику увеличения ЖЕЛ, что свидетельствует о повышении функциональных возможностей дыхательной системы и общей аэробной выносливости организма. Это отражает улучшение вентиляции легких, усиление работы дыхательной мускулатуры и более эффективное насыщение крови кислородом. В системе здоровьесбережения такие изменения приводят к снижению утомляемости, повышению работоспособности и устойчивости к гипоксии, что крайне важно в условиях жизнедеятельности человека при экстремально низких температурах в зимний период времени. Помимо этого, положительная динамика изменения ЖЕЛ способствует профилактике респираторных заболеваний и укреплению общего уровня физического здоровья студентов (табл. 3).

Выборка исследуемых результатов проб отражает положительную динамику в повышении устойчивости организма к гипоксии и гиперкапнии, а также в улучшении функционального состояния дыхательной и сердечно-сосудистой систем. В системе здоровьесбережения такие изменения приводят к повышению общей выносливости, улучшению адапционных

Таблица 2. Изменение показателей жизненного объема легких

	ЖЕЛ, л (сентябрь 2025)	ЖЕЛ, л (февраль 2026)
Студент 1	5,7	5,9
Студент 2	5,3	5,4
Студент 3	4,9	5
Студент 4	4,6	4,8
Студент 5	3,8	4
Студент 6	3,7	3,8

Таблица 3. Положительная динамика изменения ЖЕЛ

	Проба Штанге, с		Проба Генчи, с	
	Сент 2025	Февр 2026	Сент 2025	Февр 2026
Студент 1	90	95	29	31
Студент 2	58	63	31	35
Студент 3	70	77	34	39
Студент 4	52	55	23	24
Студент 5	57	59	28	28
Студент 6	47	48	33	34

возможностей организма и снижению риска функциональных нарушений со стороны дыхательной системы. Кроме того, рост показателей данных проб способствует формированию устойчивости к стрессовым и физическим нагрузкам.

В целом регулярные занятия плаванием позволяют компенсировать дефицит движения в зимний период; повысить адаптационную способность организма в условиях низких атмосферных температур; улучшить физическую подготовленность студентов до критерия выполнения норматива золотого и серебряного значка комплекса ГТО; сформировать устойчивую мотивацию к здоровому образу жизни и для подготовки студентов в будущем к службе в армии; снизить общий уровень сезонной забо-

леваемости.

Таким образом, плавание выступает не только как средство физического воспитания, но и как эффективный инструмент реализации здоровьесберегающих технологий в образовательной среде вузов северных регионов. Его активная интеграция в учебный процесс позволяет обеспечить комплексное воздействие на физическое и психоэмоциональное состояние студентов, способствуя формированию устойчивой мотивации к здоровому образу жизни, что подтверждается исследованиями в области физической культуры студенческой молодежи [4]. Практика вузов показывает, что систематическое использование плавания способствует повышению уровня физической подготовленности студентов и укреплению их здоровья.

Литература

1. Гришин, И.О. Влияние плавания на здоровье и организм человека / И.О. Гришин, С.С. Межман // Научный лидер. – 2023. – № 50. – С. 12–15. EDN: EKMMYW
2. Аксенова, А.Д. Влияние занятий плаванием на физическое и психическое здоровье студентов / А.Д. Аксенова, В.В. Захарова // Научный лидер. – 2025. – № 10. – С. 21–24. –EDN: VQDQWP.
3. Ермолаев, О.А. Плавание как способ развития физических качеств студентов / О.А. Ермо-

лаев, А.И. Мельников // Молодой ученый. – 2024. – № 28. – С. 275–277. – EDN: FJEIQL.

4. Ильясов, Б.Х. Плавание как эффективное средство укрепления здоровья студенческой молодежи / Б.Х. Ильясов // Мировая наука. – 2021. – № 6. – С. 45–48. – EDN: LGGQTO.

5. Кладкин, Н.Н. Особенности двигательной активности студентов в определенный весенне-летний период (на примере СВФУ) / Н.Н. Кладкин, С.Р. Молюкова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 10(193). – С. 72–75. – EDN: IOAQSS.

References

1. Grishin, I.O. Vliyanie plavaniya na zdorov'e i organizm cheloveka / I.O. Grishin, S.S. Mezghan // Nauchnyj lider. – 2023. – № 50. – С. 12–15. EDN: EKMMYW

2. Aksyonova, A.D. Vliyanie zanyatij plavaniem na fizicheskoe i psihicheskoe zdorov'e studentov / A.D. Aksyonova, V.V. Zaharova // Nauchnyj lider. – 2025. – № 10. – С. 21–24. –EDN: VQDQWP.

3. Ermolaev, O.A. Plavanie kak sposob razvitiya fizicheskikh kachestv studentov / O.A. Ermolaev, A.I. Mel'nikov // Molodoj uchenyj. – 2024. – № 28. – С. 275–277. – EDN: FJEIQL.

4. Il'yasov, B.H. Plavanie kak effektivnoe sredstvo ukrepleniya zdorov'ya studencheskoj molodezhi / B.H. Il'yasov // Mirovaya nauka. – 2021. – № 6. – С. 45–48. – EDN: LGGQTO.

5. Kladkin, N.N. Osobennosti dvigatel'noj aktivnosti studentov v opredelennyj vesenne-letnij period (na primere SVFU) / N.N. Kladkin, S.R. Molukova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 10(193). – С. 72–75. – EDN: IOAQSS.

© Н.Н. Кладкин, С.Н. Кладкина, 2026

РОСТ ДЕФИЦИТА ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В РФ НА 2026 ГОД

В.А. КУРИННОЙ, З.С. СЕЙДАМЕТОВА

*ГБОУ ВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
г. Симферополь*

Ключевые слова и фразы: нехватка учителей; преподавательский состав; общее образование; Российская Федерация; обучение информатике; нагрузка на учителей; образовательная политика.

Аннотация: Цель данной статьи состоит в исследовании и анализе нехватки педагогических кадров в Российской Федерации, что является сложной социально-педагогической проблемой, влияющей на качество и доступность общего образования. Для достижения цели поставлены следующие задачи: исследовать статистику вакансий, территориальные диспропорции педагогов, а также старение преподавательского состава. Гипотеза исследования – растет нехватка педагогических кадров, особенно в областях инженерного, технологического, естественно-научного и ИТ-образования.

В наше время серьезной проблемой для продвижения вперед экономического и технологического прогресса стал дефицит ресурсов. Ресурсов не материальных, а человеческих. Речь идет не о рабочем персонале, а о том, кто этот персонал обучает. Несмотря на глубоко привитое нам культурой уважение к учительской профессии, количество людей, которые хотят связать свою дальнейшую жизнь с карьерой педагога, становится все меньше. Чаще всего фиксируется нехватка учителей, связанных с подготовкой обучающихся по инженерным, технологическим, естественно-научным и информационно-технологическим направлениям.

Первыми привлекают внимание математики и физики. В публичных оценках [6] указывалось, что нехватка учителей составляет порядка 30 % и 26 %, что относится к числу наиболее острых. Наряду с физикой, в группу естественно-научных дисциплин, требующим обновления кадрового состава и повышение качества преподавания, входит биология. Для них государство отдельно формирует меры кадровой поддержки и повышения квалификации.

Информатика находится в зоне риска по нескольким причинам, первой из которых – оплата труда. Бюджет педагогических заведений не в состоянии конкурировать с заказчиками, ищущими ИТ-специалистов. Более того, кадровая потребность привела также к повышению [1]

профессиональной нагрузки, поскольку к педагогическим задачам (подготовка и проведение уроков, проверка работ, ведение документации, участие в воспитательной деятельности, взаимодействие с родителями, сопровождение проектов и олимпиад) стали добавляться задачи о поддержке сетевого оборудования и работа с ПО, а также все, что связано с вычислительной техникой в заведении в целом, потому что нанять отдельного ИТ-специалиста на должность системного администратора бюджет часто не позволяет.

При недостатке персонала школы вынуждены перераспределять часы между имеющимися учителями, что приводит к совмещению, увеличению количества уроков, расширению проверочной и организационной работы. Исследования [1] и аналитические обзоры указывают, что дефицит нередко компенсируется именно повышенной нагрузкой действующих педагогов, что усиливает профессиональное выгорание и снижает устойчивость персонала.

При этом официально общая потребность в учителях в 2024/2025 уч. г. оценивалась [3] примерно в 18,7 тыс. открытых вакансий, или около 1,8 %, однако формальный показатель открытых вакансий часто не отражает реальный масштаб проблемы. Есть такая вещь в преподавании, как скрытый дефицит кадров, это когда вакансии официально не фиксируются, но учеб-

ная нагрузка распределяется между работающими педагогами, предмет ведется совместителями, учителями непрофильной подготовки либо в дистанционном формате. Поэтому следует анализировать не только число незакрытых ставок, но и уровень нагрузки педагогов, возрастную структуру и территориальную доступность кадров.

По данным, озвученным [5] председателем Государственной Думы проверки Счетной палаты, показали, что в сельских школах нехватка учителей достигает порядка 29–30 %, особенно среди начальных классов, русского и иностранных языков. Если судить по региональным данным о вакансиях, то тут ситуация сильнее зависит от конкретного региона РФ, типа населенного пункта и демографической нагрузки на школы.

Последний учитываемый фактор – возрастная структура педагогических коллективов. С одной стороны, Минпросвещения сообщает [6], что в российских школах работает более 346 тысяч учителей младше 39 лет – 32,5 % от общего числа педагогов. С другой стороны, по отдельным предметам, особенно естественно-научного и математического профиля, сохраняется риск старения кадрового корпуса и недостаточного притока молодых специалистов.

Если просуммировать – то мы имеем явную нехватку учителей, скрытый дефицит за счет перегрузки работающих педагогов, территориальную неравномерность кадрового обеспечения, недостаток специалистов по отдельным предметам и риски старения педагогического корпуса. Дефицит педагогических кадров – проблема комплексная, и помимо очевидной экономической проблемы, имеет и социально-педагогический подтекст.

Словно змея, кусающая себя за хвост, несообразность оплаты труда вызывает отток кадров, что приводит как к отторжению новых сотрудников, так и к уходу старых, повышая нагрузку на еще работающих педагогов без повышения заработной платы, что замыкает этот порочный круг. И хотя идея «просто повысить зарплату учителям» кажется простым и идеально подходящим решением, экономика так не работает. Государственный бюджет не добывает деньги из воздуха, а потому требуется другое, более комплексное решение. Недостаточно увеличивать контроль за вакансиями или расширять набор в педагогические вузы. Поддержка педагогов дефицитных предметов активно при-

меняется в различных регионах, в основном по направлениям математики, физики, информатики, химии и биологии.

Использование сетевых форм реализации образовательных программ как дополнительного инструмента поддержки школ, испытывающих кадровые трудности, кажется заманчивым шагом, особенно учитывая активное и направленное развитие цифровизации образования [7], однако доступность вычислительной техники и персонала, его поддерживающего, еще не достаточно велика, чтобы быть введенной повсеместно, особенно для сельских школ, малых городов и дефицитных предметных направлений, где развитие целевой подготовки педагогов и создание условий для закрепления молодых специалистов (наставничество, адаптационные программы, профессиональные сообщества, жилищную поддержку) должно показать более заметные результаты.

Наиболее перспективным видится снижение избыточной бюрократической нагрузки, освобождение времени учителя для подготовки к урокам, индивидуальной работы с обучающимися и методического развития. В наше время профессия педагога обросла почти неподъемным массивом внеурочной деятельности. Ведение кружков, секций, факультативных или проектных занятий, организация проектной и исследовательской деятельности обучающихся [8], проведение занятий воспитательной направленности, сопровождение олимпиад, конкурсов, конференций, участие в мероприятиях, индивидуальная или групповая работа с обучающимися, «Разговоры о важном», посты о каждом мероприятии и событии в электронном блоге школы в социальных сетях и на официальном сайте организации/заведения, и почти все это требует дополнительной бюрократической отчетности. Не удивительно, что молодых специалистов пугает груз обязанностей.

Разумеется, эффективное преодоление кадрового дефицита возможно только при сочетании организационных, финансовых, методических и социальных мер. Стратегическая задача состоит не только в привлечении новых педагогов, но и в создании условий, при которых квалифицированный учитель будет заинтересован оставаться в профессии, развиваться в ней и обеспечивать высокое качество образования. Облегчение и оптимизация массивного бюрократического аппарата учебных заведений – логичный следующий шаг в этом направлении.

Литература

1. Анчиков, К.М. Учитель на перекрестках российского рынка труда – 2025 / К.М. Анчиков, С.И. Заир-Бек, И.Ю. Иванов, Т.А. Мерцалова, Е.В. Овакимян, К.В. Рожкова, С.Ю. Рошин, П.В. Травкин; науч. ред. С.Ю. Рошин. – М. : Издательский дом НИУ ВШЭ, 2025.
2. Примерная рабочая программа основного общего образования. Информатика. Базовый уровень (для 7–9 классов образовательных организаций) // Институт стратегии развития образования Российской академии образования. – М. : Министерство просвещения РФ, 2021. – 53 с. – (Бакалавр и магистр. Академический курс).
3. Астапенкова, Т. Глава Минпросвещения: в этом учебном году требовалось более 18 700 учителей / Т. Астапенкова // Учительская газета [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ug.ru/glava-minprosveshheniya-v-etom-uchebnom-godu-trebovalos-bolee-18-700-uchitelej>.
4. Дорофеева, Е. РАНХиГС: к 2030 году более 30 % учителей математики и физики будут старше 60 лет / Е. Дорофеева // Ведомости [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.vedomosti.ru/society/articles/2025/04/10/1103436-k-2030-godu-bolee-30-uchitelei-matematiki-i-fiziki-budut-starshe-60-let->.
5. Вячеслав Володин обратил внимание Правительства РФ на проблему дефицита педагогических кадров [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://duma.gov.ru/news/61157>.
6. Кравцов, С. Третью учителей в России составляет молодежь / С. Кравцов // Министерство просвещения Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://edu.gov.ru/press/11482/sergey-kravcov-tret-uchiteley-v-rossii-sostavlyayet-molodezh>.
7. Стратегию развития российского образования до 2036 года обсудили на совместном заседании Ассоциации ведущих университетов и Совета ректоров вузов СЗФО [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://spbu.ru/news-events/novosti/strategiyu-razvitiya-rossijskogo-obrazovaniya-do-2036-goda-obsudili-na>.
8. Куринной, В.А. Перспективы технологий онлайн-обучения в общем образовании / В.А. Куринной, З.С. Сейдаметова / Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 5(176). – С. 161–164. – EDN: GEYCJQ
9. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования : Приказ Минпросвещения России от 31.05.2021 № 287 (ред. от 18.06.2025). Зарегистрировано в Минюсте России 05.07.2021 № 64101.

References

1. Anchikov, K.M. Uchitel' na perekrestkah rossijskogo rynka truda – 2025 / K.M. Anchikov, S.I. Zair-Bek, I.YU. Ivanov, T.A. Mercalova, E.V. Ovakimyan, K.V. Rozhkova, S.YU. Roshchin, P.V. Travkin; nauch. red. S.YU. Roshchin. – M. : Izdatel'skij dom NIU VSHE, 2025.
2. Primernaya rabochaya programma osnovnogo obshchego obrazovaniya. Informatika. Bazovyj uroven' (dlya 7–9 klassov obrazovatel'nyh organizacij) // Institut strategii razvitiya obrazovaniya Rossijskoj akademii obrazovaniya. – M. : Ministerstvo prosveshcheniya RF, 2021. – 53 s. – (Bakalavr i magistr. Akademicheskij kurs).
3. Astapenkova, T. Glava Minprosveshcheniya: v etom uchebnom godu trebovalos' bolee 18 700 uchitelej / T. Astapenkova // Uchitel'skaya gazeta [Electronic resource]. – Access mode : <https://ug.ru/glava-minprosveshheniya-v-etom-uchebnom-godu-trebovalos-bolee-18-700-uchitelej>.
4. Dorofeeva, E. RANHiGS: k 2030 godu bolee 30 % uchitelej matematiki i fiziki budut starshe 60 let / E. Dorofeeva // Vedomosti [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.vedomosti.ru/society/articles/2025/04/10/1103436-k-2030-godu-bolee-30-uchitelei-matematiki-i-fiziki-budut-starshe-60-let->.
5. Vyacheslav Volodin obratil vnimanie Pravitel'stva RF na problemu deficita pedagogicheskikh kadrov [Electronic resource]. – Access mode : <http://duma.gov.ru/news/61157>.
6. Kravcov, S. Tret' uchitelej v Rossii sostavlyayet molodezh' / S. Kravcov // Ministerstvo prosveshcheniya Rossijskoj Federacii [Electronic resource]. – Access mode : <https://edu.gov.ru/press/11482/sergey-kravcov-tret-uchiteley-v-rossii-sostavlyayet-molodezh>.
7. Strategiyu razvitiya rossijskogo obrazovaniya do 2036 goda obsudili na sovmestnom zasedanii

Associacii vedushchih universitetov i Soveta rektorov vuzov SZFO [Electronic resource]. – Access mode : <https://spbu.ru/news-events/novosti/strategiyu-razvitiya-rossiyskogo-obrazovaniya-do-2036-goda-obsudili-na>.

8. Kurinnoj, V.A. Perspektivy tekhnologij onlajn-obucheniya v obshchem obrazovanii / V.A. Kurinnoj, Z.S. Sejdametova / Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 5(176). – S. 161–164. – EDN: GEYCJQ

9. Ob utverzhdenii federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta osnovnogo obshchego obrazovaniya : Prikaz Minprosveshcheniya Rossii ot 31.05.2021 № 287 (red. ot 18.06.2025). Zaregistrirovano v Minyuste Rossii 05.07.2021 № 64101.

В.А. Куринной, З.С. Сейдаметова, 2026

ВЛИЯНИЕ ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ НА СНИЖЕНИЕ СТРЕССА У ОБУЧАЮЩИХСЯ В ПЕРИОД ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ СЕССИИ

Л.А. КУЧКОВА¹, А.Ю. ШРЕДЕР^{1, 2}, Н.С. КУЗНЕЦОВА^{1, 3}, А.В. ЦОКУР¹

¹ ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет»;

² ФГБОУ ВО «Омский автобронетанковый инженерный институт»;

³ ФГАОУ ВО «Омский государственный университет имени Ф.М. Достоевского»,
г. Омск

Ключевые слова и фразы: стресс; экзаменационная сессия; обучающиеся; физическая культура; ситуативная тревожность.

Аннотация: Цель исследования – определить влияние занятий физической культурой на снижение стресса у обучающихся в период экзаменационной сессии. Задачи исследования: определить уровень тревожности у студентов ОмГМУ во время экзаменационной сессии; разработать рекомендации по «победе над стрессом» для обучающихся 1–3 курсов ОмГМУ с помощью занятий физической культурой. Предполагается, что использование средств физической культуры в период экзаменационной сессии снизит уровень стресса у обучающихся. В работе были использованы следующие методы исследования: анализ научно-методической литературы, анкетирование, оценка уровня ситуативной тревожности по методике Ч.Д. Спилбергера, методы математической статистики. В период экзаменационной сессии необходимо правильно подбирать и дозировать физическую нагрузку. Регулярные занятия физической культурой способствуют снижению уровня стресса у обучающихся во время экзаменов, а отсутствие физической активности, наоборот, увеличивает тревожность и ухудшает качество сна, что усиливает стрессовое состояние. Данная работа указывает на необходимость осознанного подхода к стрессу в сочетании с физическими упражнениями для его минимизации в поддержании физического и психологического здоровья обучающихся. Статья будет полезным ресурсом для обучающихся, стремящихся преодолеть и профилактировать его негативные последствия.

В данной статье рассматривается положительное влияние занятий физической культурой на психоэмоциональное состояние и уровень тревожности студентов во время экзаменационной сессии. Особое внимание уделяется методам повышения сопротивляемости стрессу через дозированные физические и эмоциональные нагрузки. По статистике, более 60 % студентов во время экзаменационной сессии испытывают значительное психоэмоциональное напряжение. Экзаменационный стресс оказывает негативное влияние на нервную, сердечно-сосудистую и иммунную системы студентов, проявляется в виде тревоги, раздражительности, ухудшении памяти и даже физических недомоганий [6; 7]. Во время экзаменационной сессии организм студента испытывает интен-

сивную умственную нагрузку; повышенную статическую нагрузку; ограничение двигательной активности; нарушение режима сна; эмоциональные переживания [9]. Все это приводит к нарушению нормальной жизнедеятельности организма. По данным большинства исследователей, экзаменационный стресс представляет собой серьезную угрозу здоровью студентов. В данной работе занятия физической культурой рассматриваются не просто как способ поддержания формы, а как вспомогательный инструмент борьбы с экзаменационным стрессом [3].

Стресс – это совокупность неспецифических адаптационных реакций организма на воздействие различных неблагоприятных факторов-стрессоров (физических или психологических), нарушающее его гомеостаз, а также

соответствующее состояние нервной системы организма (или организма в целом). Стресс направлен на развитие в ответ на стрессорное воздействие защитно-приспособительных реакций организма с задействованием [2].

Чтобы понять влияние физической культуры на организм человека, нужно разобраться в механизме стресса. Когда человек нервничает, в кровь выбрасываются гормоны – адреналин и кортизол, учащается сердцебиение, мышцы приходят в тонус, дыхание становится поверхностным, энергия, выделившаяся на борьбу, не находит выхода [5]. В результате гормоны стресса «застаиваются» в крови, вызывая тревожность и напряжение. Занятия физической культурой – это единственный физиологичный способ «завершить» реакцию стресса. При выполнении физических упражнений мышцам дается та самая работа, к которой их подготовил организм [1].

Исследование уровня ситуативной тревожности проводилось на базе Омского Государственного медицинского университета, в нем приняли участие 247 студентов, исследование проводилось в форме анкетирования. Возраст участников составил 18–22 года.

Оценка уровня ситуативной тревожности для студентов ОмГМУ была проведена по методике Ч.Д. Спилберга. В период экзаменационной сессии у 35 % опрошенных отмечается высокая тревожность, 42 % обучающихся испытывают умеренную тревожность, низкая тревожность по результатам анкетного опроса отмечается у 18 % опрошенных. Как выяснилось, уровень высокой тревожности в основном наблюдается у обучающихся 1–2 курса, так как с экзаменационной сессией они столкнулись впервые, у студентов 2–3 курсов уровень тревожности снижается, так как они уже знакомы с этим.

94 % обучающихся ОмГМУ испытывают стресс во время экзаменационной сессии. Поводом для беспокойства в основном служит боязнь не сдать или плохо сдать экзамен, этот ответ выделили 68 %, на 2 месте был ответ – сложность экзамена, его выбрали 51 % участников, все вышеперечисленные ответы выбрали 34 % обучающихся. Для подготовки к экзамену или зачету студенты в основном уделяют от одной недели до месяца, в зависимости от сложности предмета. Во время подготовки к экзамену или зачету в течение дня 95 % студентов делают перерывы, в основном перерыв бывает

1–2 раза по 30–40 минут (46 %), перерыв бывает на обед либо прогулку.

В период экзаменационной сессии 50 % опрошенных занимаются физической культурой 1–2 раза в неделю, продолжительность занятий составляет от 30 до 40 минут, 13 % занимаются 3–4 раза в неделю по 30–60 минут.

Физические упражнения помогают снять напряжение и чувства тревожности при подготовке к экзаменационной сессии у 50 % опрошенных. После занятий физической культурой 35 % опрошенных чувствуют расслабление мышц и возможность для отдыха зрительного анализатора, 22 % опрошенных занятия физической культурой успокаивают, носят релаксирующий характер.

Как будущие врачи, 83 % опрошенных будут рекомендовать физические нагрузки в период сессии, считая, что это полезно для организма обучающихся.

Для достижения положительного влияния занятий физической культуры на снижение стресса у обучающихся были выделены следующие механизмы: утилизация гормонов с помощью физической активности «сжигает» излишки кортизола и адреналина. После занятий уровень этих гормонов приходит в норму, и тревога отступает. Во время физической нагрузки мозг вырабатывает эндорфины, так называемые «гормоны счастья». Они действуют как естественное обезболивающее и антидепрессант, улучшая настроение. Физические нагрузки ускоряют кровоток, улучшается кровообращение мозга. Кровь насыщает мозг кислородом и глюкозой, что напрямую улучшает когнитивные функции: память, концентрацию внимания и скорость мышления.

Смена деятельности (с умственной на физическую) дает нервной системе возможность отдохнуть, что дает ей перезагрузку.

На основании анализа научной литературы и результатов исследований были разработаны рекомендации для профилактики стресса у обучающихся 1–3 курсов ОмГМУ с помощью средств физической культуры.

Исходя из вышеизложенного, мы пришли к следующим выводам.

1. В период экзаменационной сессии важно правильно подбирать и дозировать нагрузку, так как длительные тренировки могут добавить усталости. В этот период целесообразнее всего выполнять аэробные упражнения и упражнения на растягивание. Не нужно пренебрегать утрен-

ней зарядкой и вечерней прогулкой. Если нет возможности активно двигаться, прямо перед аудиторией выполните дыхательную гимнастику. Глубокий вдох и очень медленный выдох помогают снизить пульс и успокоиться за 1–2 минуты. Отлично «очищает мысли» 20–30-минутная пробежка на свежем воздухе.

2. Активное плавание снимает мышечные зажимы, расслабляет с помощью воды и правильного дыхания. После долгого нахождения за столом в вынужденной позе йога и стретчинг помогают снять физическое напряжение (спаз-

мы в спине и шее), а занятия танцами способствуют поднятию настроения и положительным эмоциям. Отсутствие физической активности увеличивает тревожность и ухудшает качество сна, что усиливает стрессовое состояние.

3. Регулярные занятия физической культурой способствуют снижению уровня стресса у обучающихся во время экзаменов, а систематические занятия физической культурой могут стать эффективным методом снижения уровня стресса у обучающихся и улучшения успеваемости.

Литература

1. Гафарова, Д.Д. Преодоление стресса у студентов в период сессии путем организации самостоятельных занятий физической культурой / Д.Д. Гафарова // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 12. – EDN: YLTCLN.
2. Кучкова, Л.А. Анализ отношения студентов медицинского университета к здоровому образу жизни / Л.А. Кучкова, А.Ю. Шредер, М.К. Рахметоллаева // Омские социально-гуманитарные чтения – 2019 : Материалы XII Международной научно-практической конференции, Омск, 16–18 апреля 2019 года / Минобрнауки России; Омское отделение Российского общества социологов; Омский государственный технический университет; Центр социологического исследования, факультет гуманитарного образования, кафедра истории, философии и социальных коммуникаций; Ответственный редактор Л.А. Кудринская. – Омск : Омский государственный технический университет, 2019. – С. 310–314. – EDN OVKZQO.
3. Кучкова, Л.А. Олимпийские ценности в понимании российских и иностранных студентов / Л.А. Кучкова, А.Ю. Шредер, Н.С. Кузнецова, Ю.В. Васильев // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2026. – № 2-1(179). – С. 136–139. – EDN: LGWXNV.
4. Пермяков, О.М. Влияние занятий физической культурой на уровень стресса у обучающихся в период экзаменационной сессии / О.М. Пермяков. – Брянск, 2005. – С. 278–282.
5. Спилбергер, Ч.Д. Концептуальные и методологические проблемы исследования тревоги / Ч.Д. Спилбергер // Стресс и тревога в спорте, 1983 – С. 12–24.
6. Салугин, Ф.В. Дифференцированный подход к психологической подготовке кикбоксеров / Ф.В. Салугин, В.Г. Турманидзе, А.А. Фоменко, А.В. Салугин, А.Ю. Шредер // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2019. – № 5(171). – С. 272–277. – EDN: RVZLTL.
7. Салугин, Ф.В. Психолого-педагогическое сопровождение двигательной подготовки спортсменов-единоборцев / Ф.В. Салугин, В.В. Козин, М.В. Жуков, А.С. Кайсин. – Омск : Омский государственный технический университет, 2025. – 122 с. – ISBN: 978-5-8149-3899-2. – EDN: NMHSNK.
8. Шредер, А.Ю. Применение принципов ЗОЖ у студентов медицинского вуза / А.Ю. Шредер, М.Х. Спатаева, А.С. Кайсин, Л.А. Кучкова, Д.А. Якубович, А.В. Нечаев // Обзор педагогических исследований. – 2024. – Т. 6. – № 6. – С. 123–128. – DOI: 10.58224/2687-0428-2024-6-6-123-128. – EDN: JISFDI.
9. Щербатых, Ю.В. Психология стресса и методы коррекции / Ю.В. Щербатых. – СПб. : Питер, 2019. – 378 с.

References

1. Gafarova, D.D. Preodolenie stressa u studentov v period sessii putem organizacii samostoyatel'nyh zanyatij fizicheskoy kul'turoj / D.D. Gafarova // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. – 2017. – № 12. – EDN: YLTCLN.
2. Kuchkova, L.A. Analiz otnosheniya studentov medicinskogo universiteta k zdorovomu obrazu

zhizni / L.A. Kuchkova, A.YU. SHreder, M.K. Rahmetollaeva // Omskie social'no-gumanitarnye chteniya – 2019 : Materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Omsk, 16–18 aprelya 2019 goda / Minobrnauki Rossii; Omskoe otделение Rossijskogo obshchestva sociologov; Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet; Centr sociologicheskogo issledovaniya, fakul'tet gumanitarnogo obrazovaniya, kafedra istorii, filosofii i social'nyh kommunikacij; Otvetstvennyj redaktor L.A. Kudrinskaya. – Omsk : Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2019. – S. 310–314. – EDN OVKZQO.

3. Kuchkova, L.A. Olimpijskie cennosti v ponimanii rossijskih i inostrannyh studentov / L.A. Kuchkova, A.YU. SHreder, N.S. Kuznecova, YU.V. Vasil'ev // Global'nyj nauchnyj potencial. – SPb. : NTF RIM. – 2026. – № 2-1(179). – S. 136–139. – EDN: LGWXNV.

4. Permyakov, O.M. Vliyanie zanyatij fizicheskoy kul'turoj na uroven' stressa u obuchayushchihsya v period ekzamenacionnoj sessii / O.M. Permyakov. – Bryansk, 2005. – S. 278–282.

5. Spilberger, CH.D. Konceptual'nye i metodologicheskie problemy issledovaniya trevogi / CH.D. Spilberger // Stress i trevoga v sporte, 1983 – S. 12–24.

6. Salugin, F.V. Differencirovannyj podhod k psihologicheskoy podgotovke kikkokserov / F.V. Salugin, V.G. Turmanidze, A.A. Fomenko, A.V. Salugin, A.YU. SHreder // Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta. – 2019. – № 5(171). – S. 272–277. – EDN: RVZLTL.

7. Salugin, F.V. Psihologo-pedagogicheskoe soprovozhdenie dvigatel'noj podgotovki sportsmenov-edinoborcev / F.V. Salugin, V.V. Kozin, M.V. ZHukov, A.S. Kajsин. – Omsk : Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2025. – 122 s. – ISBN: 978-5-8149-3899-2. – EDN: NMHSNK.

8. SHreder, A.YU. Primenenie principov ZOZH u studentov medicinskogo vuza / A.YU. SHreder, M.H. Spataeva, A.S. Kajsин, L.A. Kuchkova, D.A. YAkubovich, A.V. Nechaev // Obzor pedagogicheskikh issledovanij. – 2024. – T. 6. – № 6. – S. 123–128. – DOI: 10.58224/2687-0428-2024-6-6-123-128. – EDN: JISFDI.

9. SHCHerbatyh, YU.V. Psihologiya stressa i metody korrekcii / YU.V. SHCHerbatyh. – SPb. : Piter, 2019. – 378 s.

© Л.А. Кучкова, А.Ю. Шредер, Н.С. Кузнецова, А.В. Цокур, 2026

ОСОБЕННОСТИ ОГНЕВОЙ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ МВД РОССИИ К ДЕЙСТВИЯМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А.В. МЕДВЕДЕВ¹, К.А. АСТАФЬЕВ², О.В. ФИНИКОВА¹, А.А. ТАРАКАНОВА¹

¹ ФГКОУ ВО «Белгородский юридический институт
Министерства внутренних дел Российской Федерации имени И.Д. Путилина»,
г. Белгород;

² ФКОУ ВО «Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний»,
г. Воронеж

Ключевые слова и фразы: огневая подготовка; профессиональная деятельность; экстремальные условия; обучающиеся; стрессоустойчивость; тактико-специальная подготовка; психологическая готовность; применение оружия.

Аннотация: В статье рассматриваются методические и психофизиологические аспекты подготовки обучающихся образовательных организаций МВД России к действиям с применением огнестрельного оружия в экстремальных ситуациях. Исследуется специфика формирования профессиональных компетенций в условиях, максимально приближенных к реальной оперативно-служебной деятельности. Рассматриваются современные подходы к моделированию стрессовых ситуаций на занятиях по огневой подготовке, анализируются типичные ошибки при обучении и предлагаются пути их устранения. Особое внимание уделяется психологической составляющей подготовки – формированию морально-психологической устойчивости, способности принимать решения в условиях дефицита времени и непредсказуемости развития событий. Обосновывается необходимость интеграции тактико-специальной и огневой подготовки, применения современных технических средств обучения, включая симуляторы и VR-тренажеры.

Цель исследования: совершенствование огневой выучки курсантов образовательных организаций МВД России при подготовке к действиям в экстремальных условиях.

Задачи исследования: проанализировать психолого-педагогическую и научно-методическую литературу огневой подготовки; выявить наиболее эффективные средства и методы обучения огневой подготовки; выявить особенности огневой выучки курсантов образовательных организаций системы МВД России при подготовке к действиям в экстремальных условиях.

Гипотеза исследования: развитие качеств, необходимых для несения службы сотрудниками полиции в экстремальных условиях.

Методы исследования: педагогическое наблюдение, сравнительный эксперимент, анализ результатов.

Достигнутые результаты: результаты исследования позволят повысить эффективность огневой выучки курсантов образовательных организаций МВД России при подготовке к действиям в экстремальных условиях.

Профессиональная деятельность сотрудников органов внутренних дел относится к категории повышенной опасности и характеризуется высокой степенью экстремальности. Статистические данные свидетельствуют о росте числа

ситуаций, требующих применения табельного огнестрельного оружия. По различным оценкам, три случая из четырех использования оружия сотрудниками полиции связаны с пресечением или предотвращением преступлений, а

каждый шестой – с отражением нападения на самого полицейского [1].

Современная криминогенная обстановка в России характеризуется не только количественным ростом преступности, но и качественными изменениями – увеличивается число тяжких и особо тяжких преступлений, растет вооруженность преступников, усиливается их агрессивность и готовность к противодействию правоохранительным органам. В этих условиях от уровня огневой подготовки сотрудника полиции нередко зависят жизнь и здоровье как самого полицейского, так и граждан, находящихся в зоне его ответственности.

Сотрудник должен строго следовать организационным и методическим рекомендациям, чтобы исключить возможность ошибок в технике стрельбы из огнестрельного оружия [2].

Практика показывает, что традиционные формы и методы огневой подготовки, реализуемые в образовательных организациях МВД России, не в полной мере соответствуют требованиям современной оперативно-служебной деятельности. Анализ случаев применения огнестрельного оружия сотрудниками полиции выявляет существенные проблемы: низкую результативность стрельбы, психологическую неподготовленность к применению оружия в реальных условиях, недостаточность навыков действий с оружием в нестандартных ситуациях. Специфика применения огнестрельного оружия в реальной оперативно-служебной деятельности существенно отличается от условий, создаваемых на учебных стрельбах. Огневой контакт с правонарушителем, как правило, происходит на малых дистанциях (5–15 метров), характеризуется крайне ограниченным временем на принятие решения и производство выстрела (2–3 секунды), осложняется множеством дестабилизирующих факторов – присутствием посторонних лиц, ограниченной видимостью, необходимостью использования укрытий, физическим и психологическим стрессом [3].

Традиционные упражнения курса стрельб, выполняемые в комфортных условиях закрытого тира по неподвижным мишеням, не способны сформировать навыки, необходимые для эффективных действий в подобных ситуациях. Исследования показывают, что сотрудники, демонстрирующие отличные результаты на плановых стрельбах, в реальной ситуации могут оказаться неспособными применить оружие результативно – срабатывают психологические

барьеры, теряется координация движений, нарушается техника стрельбы.

В этой связи приоритетным направлением совершенствования огневой подготовки становится создание на занятиях условий, моделирующих реальные экстремальные ситуации. Это предполагает включение в учебный процесс упражнений, выполняемых после физической нагрузки, с использованием защитной экипировки, в условиях звукового и светового воздействия, по внезапно появляющимся целям, с необходимостью принятия решения о правомерности применения оружия, в присутствии «гражданских лиц-манекенов» и т.п.

Важным элементом такой подготовки является отработка стрельбы в движении, из-за укрытий, из нестандартных положений (лежа, с колена, из салона транспортного средства). Особое значение имеет формирование навыков быстрого извлечения оружия из кобуры и приведения его в боевую готовность, что в реальной ситуации нередко становится определяющим фактором выживания сотрудника.

Кроме того, эффективность действий сотрудника с оружием в экстремальной ситуации во многом определяется его психофизиологическим состоянием. Стресс, возникающий в момент реальной угрозы жизни, вызывает комплекс психофизиологических реакций – выброс адреналина, учащение пульса и дыхания, повышение мышечного тонуса, изменение восприятия времени и пространства и др. Эти реакции, как механизм мобилизации организма перед лицом опасности, могут как способствовать выживанию, так и при чрезмерной интенсивности дезорганизовывать деятельность.

Для стрельбы особенно опасны такие проявления стресса, как тремор рук, потеря точности движений, «туннельное зрение» (сужение поля зрения с потерей периферического обзора), нарушение координации. Известен феномен «симптома крокодила», когда сотрудник в состоянии сильного стресса непроизвольно сжимает рукоятку оружия с чрезмерной силой, что приводит к непреднамеренным выстрелам или полной утрате контроля над оружием.

Психологическая подготовка к действиям в экстремальных условиях должна включать формирование навыков саморегуляции, управления эмоциональным состоянием, преодоления страха. Важную роль играет воспитание морально-психологической устойчивости – способности сохранять высокую функциональную актив-

ность и успешно выполнять поставленные задачи в любых, в том числе экстремальных, условиях.

Одним из эффективных методов психологической подготовки является постепенное введение в учебный процесс стрессовых факторов с нарастающей интенсивностью. На начальном этапе это могут быть: физическая нагрузка перед стрельбой, ограничение времени на выполнение упражнения. По мере адаптации обучаемых степень стрессового воздействия увеличивается – вводятся внезапные помехи, отвлекающие свето-шумовые факторы, элементы неопределенности. Такой подход позволяет формировать устойчивость к стрессу, развивать способность сохранять работоспособность в неблагоприятных условиях.

Важнейшим элементом подготовки является преодоление психологического барьера применения оружия. Даже при наличии технических навыков стрельбы сотрудник может оказаться неспособным применить оружие в реальной ситуации из-за психологических факторов – нерешительности, сомнений в правомерности своих действий, страха ответственности. Формирование психологической готовности к применению оружия требует специальной работы, включающей правовое обучение, моделирование ситуаций морального выбора, отработку алгоритмов принятия решения в условиях дефицита времени.

Современная методика огневой подготовки курсантов должна базироваться на принципах практико-ориентированного обучения, максимального приближения условий занятий к реальным ситуациям оперативно-служебной деятельности, индивидуализации подготовки с учетом особенностей каждого обучаемого.

Структура обучения может быть представлена в виде трех последовательных этапов. *На первом этапе (начальный период)* формируются базовые навыки обращения с оружием, техника производства меткого выстрела, правила безопасности. Занятия проводятся в комфортных условиях, без введения существенных стрессовых факторов. *Второй этап (основной период)* характеризуется постепенным усложнением условий выполнения упражнений, введением элементов неопределенности и стресса, отработкой действий в нестандартных ситуациях. *Третий этап (период совершенствования)* предполагает комплексное применение различных сбивающих факторов, моделирование ситу-

аций, максимально приближенным к реальным.

Важнейшее значение имеет интеграция огневой подготовки с другими дисциплинами профессионального цикла – тактико-специальной, физической и психологической подготовкой. Изолированное обучение стрельбе, без учета тактического контекста применения оружия, не обеспечивает формирования целостной профессиональной компетенции.

Существенную роль в повышении эффективности обучения играют современные технические средства – лазерные стрелковые тренажеры, системы видеоанализа техники стрельбы, симуляторы виртуальной реальности. Они позволяют многократно отрабатывать необходимые навыки без расхода боеприпасов, моделировать разнообразные ситуации применения оружия, получать объективную обратную связь о качестве выполняемых упражнений.

Анализ современного состояния огневой подготовки в образовательных организациях МВД России выявляет ряд системных проблем. К объективным факторам, снижающим эффективность обучения, относятся: недостаточное материально-техническое обеспечение (использование современных образцов огнестрельного оружия, ограниченность боеприпасов к ним, отсутствие современных технических и интерактивных средств обучения); дефицит учебного времени, отводимого на практические занятия; отсутствие или неудовлетворительное состояние специализированных учебных объектов – полигонов, стрельбищ, тактических городков.

Пути решения выявленных проблем лежат в нескольких аспектах. Совершенствование нормативно-правовой базы должно обеспечить увеличение объема практических занятий, расширение перечня отрабатываемых упражнений с включением в него задач, максимально приближенных к реальным условиям. Модернизация материально-технической базы предполагает оснащение образовательных организаций современными тренажерами, обновление парка табельного оружия, увеличение норм расхода боеприпасов на обучение.

Методическое совершенствование огневой выучки в экстремальных условиях должно базироваться на научных исследованиях, обобщении передового отечественного и зарубежного опыта, широком внедрении инновационных образовательных технологий. Важнейшим направлением является разработка и внедрение специализированных методик формирования

психологической готовности к применению оружия, преодоления стресса, действий в ситуациях с высокой степенью неопределенности.

В заключение необходимо отметить то, что подготовка курсантов к действиям с применением огнестрельного оружия в экстремальных условиях представляет собой сложную педагогическую задачу, требующую комплексного подхода, интеграции различных направлений профессиональной подготовки, применения современных методик и технических средств обучения. Эффективность такой подготовки определяется не только уровнем сформированности технических навыков стрельбы, но и психологической готовностью к применению оружия, способностью сохранять работоспособность в условиях стресса, умением принимать обосно-

ванные решения в ситуациях с дефицитом времени и информации.

Совершенствование системы огневой подготовки в образовательных организациях МВД России должно идти по пути максимального приближения условий обучения к реальной оперативно-служебной деятельности, усиления практико-ориентированной составляющей, широкого использования методов моделирования экстремальных ситуаций. Только при таком подходе возможно формирование у выпускников образовательных организаций профессиональных компетенций, необходимых для эффективного и правомерного применения оружия в защиту жизни, здоровья и законных интересов граждан, в интересах обеспечения общественной безопасности и правопорядка.

Литература

1. Бондарчук, И.В. Стрессовые ситуации при стрельбе на учебных занятиях по огневой подготовке / И.В. Бондарчук // *Инновационная наука*. – 2022. – № 5. – С. 83–85. – EDN: KYPAIW.
2. Медведев, А.В. Вопросы методики обучения огневой выучке сотрудников полиции / А.В. Медведев // *Перспективы науки*. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 3(186). – С. 97–100. – EDN: AUSSEF.
3. Светличный, Е.Г. Совершенствование навыков личной безопасности курсантов и слушателей образовательных организаций Министерства внутренних дел России при обращении с огнестрельным оружием / Е.Г. Светличный, О.С. Панова, В.Е. Донченко // *Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта*. – 2020. – № 4. – С. 393–397. – DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2020.4.p393-397. – EDN: MGOFQK.

References

1. Bondarchuk, I.V. Stressovye situacii pri strel'be na uchebnyh zanyatiyah po ognevoj podgotovke / I.V. Bondarchuk // *Innovacionnaya nauka*. – 2022. – № 5. – S. 83–85. – EDN: KYPAIW.
2. Medvedev, A.V. Voprosy metodiki obucheniya ognevoj vyuchke sotrudnikov policii / A.V. Medvedev // *Perspektivy nauki*. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 3(186). – S. 97–100. – EDN: AUSSEF.
3. Svetlichnyj, E.G. Sovershenstvovanie navykov lichnoj bezopasnosti kursantov i slushatelej obrazovatel'nyh organizacij Ministerstva vnutrennih del Rossii pri obrashchenii s ognestrel'nym oruzhiem / E.G. Svetlichnyj, O.S. Panova, V.E. Donchenko // *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*. – 2020. – № 4. – S. 393–397. – DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2020.4.p393-397. – EDN: MGOFQK.

© А.В. Медведев, К.А. Астафьев, О.В. Финикова, А.А. Тараканова, 2026

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ТЕСТИРОВЩИКА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ У БУДУЩИХ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

П.Р. ОВЧИННИКОВА, Т.А. ЛАВИНА

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары

Ключевые слова и фразы: профессиональная компетентность; тестировщик информационных систем; виртуальная реальность; подготовка ИТ-специалистов; тестирование программного обеспечения; практико-ориентированное обучение; визуализация; курс на основе виртуальной реальности.

Аннотация: В статье рассматривается проблема формирования профессиональной компетентности тестировщика информационных систем у будущих ИТ-специалистов в условиях обновления требований к качеству программного продукта, роста значимости практико-ориентированной подготовки. Актуальность исследования обусловлена противоречием между потребностью ИТ-отрасли в специалистах, способных выполнять функциональное, регрессионное, нагрузочное и исследовательское тестирование, и недостаточной разработанностью методик обучения, позволяющих формировать соответствующие знания, умения и профессионально значимые качества в среде, приближенной к реальной практике. Цель статьи заключается в разработке и обосновании методики формирования профессиональной компетентности тестировщика информационных систем у будущих ИТ-специалистов в процессе обучения с применением технологий виртуальной реальности. В статье раскрываются структура профессиональной компетентности тестировщика, педагогические факторы ее формирования, логика построения учебного курса «Тестирование информационных систем с применением технологии виртуальной реальности», а также система уровневой оценки результатов обучения. Обосновано, что использование технологии виртуальной реальности позволяет усилить наглядность процессов тестирования, визуализировать потоки данных, изменения состояния системы, производительность и поведение модулей искусственного интеллекта, а также повысить мотивацию студентов и качество освоения практических действий. Практическая значимость исследования состоит в возможности использования предложенной методики при проектировании дисциплин профессионального цикла в вузах ИТ-профиля и в системе дополнительного профессионального образования.

В настоящее время, как отмечается многими исследователями, все более актуальной становится проблема подготовки ИТ-специалистов, способных эффективно работать в условиях быстро развивающейся цифровой среды, усложнения программных продуктов и возрастающих требований к их качеству.

Так, А.В. Козлов подчеркивает значение технологий виртуальной и дополненной реаль-

ности в высшем техническом образовании как средства повышения наглядности, практической направленности и технологичности подготовки обучающихся [1, с. 111–114].

Н.Ю. Корнеева и Н.В. Уварина рассматривают погружающие цифровые технологии как перспективный инструмент современного профессионального образования, обеспечивающий включение обучающегося в активную познава-

тельную и профессионально значимую деятельность [2, с. 17–20].

Т.А. Лавина, Е.А. Мытникова и Е.Т. Ярускина отмечают необходимость комплексного подхода к инженерному образованию при подготовке бакалавров направления «Программная инженерия» [3, с. 160–164].

П.Р. Овчинникова и Т.А. Лавина связывают использование технологий дополненной и виртуальной реальности с повышением качества подготовки специалистов по информационным системам [4, с. 40–43].

Современная ИТ-отрасль предъявляет высокие требования к специалистам по информационным системам. Они работают в условиях быстрых изменений и сложных проектов. При этом факторе возрастает роль тестировщика информационных систем как специалиста, который должен владеть методами функционального, регрессионного, нагрузочного, кросс-платформенного и исследовательского тестирования, уметь анализировать поведение цифрового продукта, обнаруживать дефекты и оценивать устойчивость системы в различных сценариях эксплуатации. Вместе с тем существующая практика подготовки студентов ИТ-направлений не всегда обеспечивает достаточную приближенность учебного процесса к реальным профессиональным задачам.

Необходима модернизация профессионального образования в условиях цифровой трансформации, современное образование должно быть ориентировано не только на передачу знаний, но и на становление профессиональной компетентности. Необходимы изменения логики обучения, расширения использования цифровых средств моделирования профессиональных ситуаций.

В зарубежных исследованиях также подтверждается эффективность применения иммерсивных технологий в обучении.

G. Makransky и G.B. Petersen раскрывают когнитивно-аффективную модель иммерсивного обучения и показывают, что виртуальная реальность создает условия для более глубокого усвоения сложных действий [5, p. 939–946].

L. Jensen и F. Konradsen рассматривают виртуальную реальность как эффективное средство профессиональной подготовки [6, p. 1518–1519].

J. Radianti, T.A. Majchrzak, J. Fromm и I. Wohlgenannt доказывают, что приложения на основе виртуальной реальности в высшем об-

разовании позволяют моделировать процессы, требующие наблюдения, анализа и многократной отработки [7, p. 523].

I. Hunko, O. Muliarevych, R. Trishchuk, S. Zybin и P. Halachev отмечают потенциал виртуальной реальности для совершенствования методов тестирования программного обеспечения [8, p. 4725–4730].

Таким образом, научная и практическая значимость исследования определяется необходимостью разработки методики формирования профессиональной компетентности тестировщика информационных систем у будущих ИТ-специалистов на основе применения технологий виртуальной реальности.

Анализ научных публикаций показывает, что проблема использования технологий виртуальной реальности в образовании рассматривается достаточно активно. Данные технологии позволяют существенно расширить возможности высшего технического образования, обеспечивая визуализацию трудных для восприятия объектов и процессов. Иммерсивные технологии обладают значительным потенциалом в профессиональном обучении благодаря высокой степени вовлеченности обучающихся и возможности моделирования профессиональных ситуаций.

С.В. Толмачева и Л.А. Толмачева, анализируя ценностный аспект использования VR в обучении, приходят к выводу о том, что подобные технологии способствуют повышению учебной мотивации и положительно влияют на отношение студентов к образовательному процессу [9, с. 126–133].

Е.К. Шилов также рассматривает технологии виртуальной реальности как перспективное средство профессионального образования, акцентируя внимание на их прикладном характере [10, с. 240–246].

Отдельную группу составляют исследования, связанные с подготовкой специалистов ИТ-профиля и формированием профессиональных компетенций. И.И. Полевода подчеркивает важность определения содержания профессиональной компетентности с учетом требований работодателей [11, с. 119].

Следует отметить, что непосредственно проблема формирования профессиональной компетентности тестировщика информационных систем с применением технологий виртуальной реальности разработана недостаточно. Имеющиеся исследования посвящены либо

общим вопросам цифровизации образования, либо использованию виртуальной реальности в обучении в широком смысле, либо формированию отдельных ИТ-компетенций. Недостаточно полно раскрыты педагогические условия, содержание подготовки, структура профессиональной компетентности тестирующего и способы ее диагностики в условиях применения цифровых технологий погружения.

Следовательно, существует необходимость разработки научно обоснованной методики формирования профессиональной компетентности тестирующего информационных систем у будущих ИТ-специалистов с использованием технологий виртуальной реальности.

Целью статьи является обоснование методики формирования профессиональной компетентности тестирующего информационных систем у будущих ИТ-специалистов в процессе обучения с применением технологий виртуальной реальности.

Методика формирования профессиональной компетентности тестирующего информационных систем опирается на компетентностный, деятельностный и практико-ориентированный подходы. В условиях цифровой трансформации ключевым результатом профессионального образования становится не совокупность усвоенных знаний, а способность выпускника эффективно действовать в профессионально значимых ситуациях.

Профессиональная компетентность тестирующего информационных систем понимается как интегративное качество личности будущего ИТ-специалиста, включающее:

- систему знаний о видах, уровнях и методах тестирования;
- умения разрабатывать и применять тест-кейсы, чек-листы и сценарии проверки;
- навыки анализа дефектов, оценки качества программного продукта и интерпретации результатов тестирования;
- готовность к профессиональному взаимодействию, ответственности за качество цифрового продукта;
- способность к рефлексии, самооценке и профессиональному развитию.

При определении содержания профессиональной компетентности учитывались требования рынка труда. Как отмечают Т.В. Прокопьева и Т.А. Лавина, проектирование профессиональных компетенций должно опираться на требования работодателей и трудовые функции

[12, с. 54–58]. В отношении тестирующего информационных систем это означает необходимость формирования у студентов не только теоретического понимания процесса тестирования, но и способности выполнять профессиональные действия в условиях, максимально приближенных к реальной практике.

Первым педагогическим фактором является построение обучения на основе практико-ориентированных задач, отражающих реальные профессиональные функции тестирующего. В ходе подготовки студент должен не просто изучать классификации тестирования, а применять различные виды проверок к конкретным информационным системам, анализировать результаты и принимать решения по улучшению качества программного продукта.

Вторым фактором выступает использование технологий виртуальной реальности как среды профессионального моделирования. Виртуальная реальность позволяет переносить обучающегося в искусственно созданную, но функционально значимую образовательную среду. Иммерсивные технологии позволяют воспроизводить сложные профессиональные ситуации и повышают степень вовлеченности студентов. В рассматриваемой методике виртуальная реальность используется не как дополнительный визуальный эффект, а как полноценное средство моделирования поведения тестируемой системы, потоков данных, производительности приложения и реакции цифровой среды на изменение программных модулей.

Третьим фактором является интеграция проектной деятельности в процесс обучения. Подготовка студентов ИТ-направлений должна строиться с учетом комплексного инженерного подхода, включающего проектирование, анализ и реализацию. Поэтому в рамках предлагаемой методики студенты не только тестируют готовые цифровые продукты, но и работают с собственными или учебными проектами, что позволяет глубже понять взаимосвязь разработки и контроля качества.

Четвертым фактором является формирование устойчивой мотивации и ценностного отношения к профессиональной деятельности. Применение технологий виртуальной реальности в обучении влияет не только на познавательную активность, но и на ценностную сферу обучающихся. Это особенно важно в подготовке тестирующего, поскольку его деятельность требует внимательности, ответственности, ана-

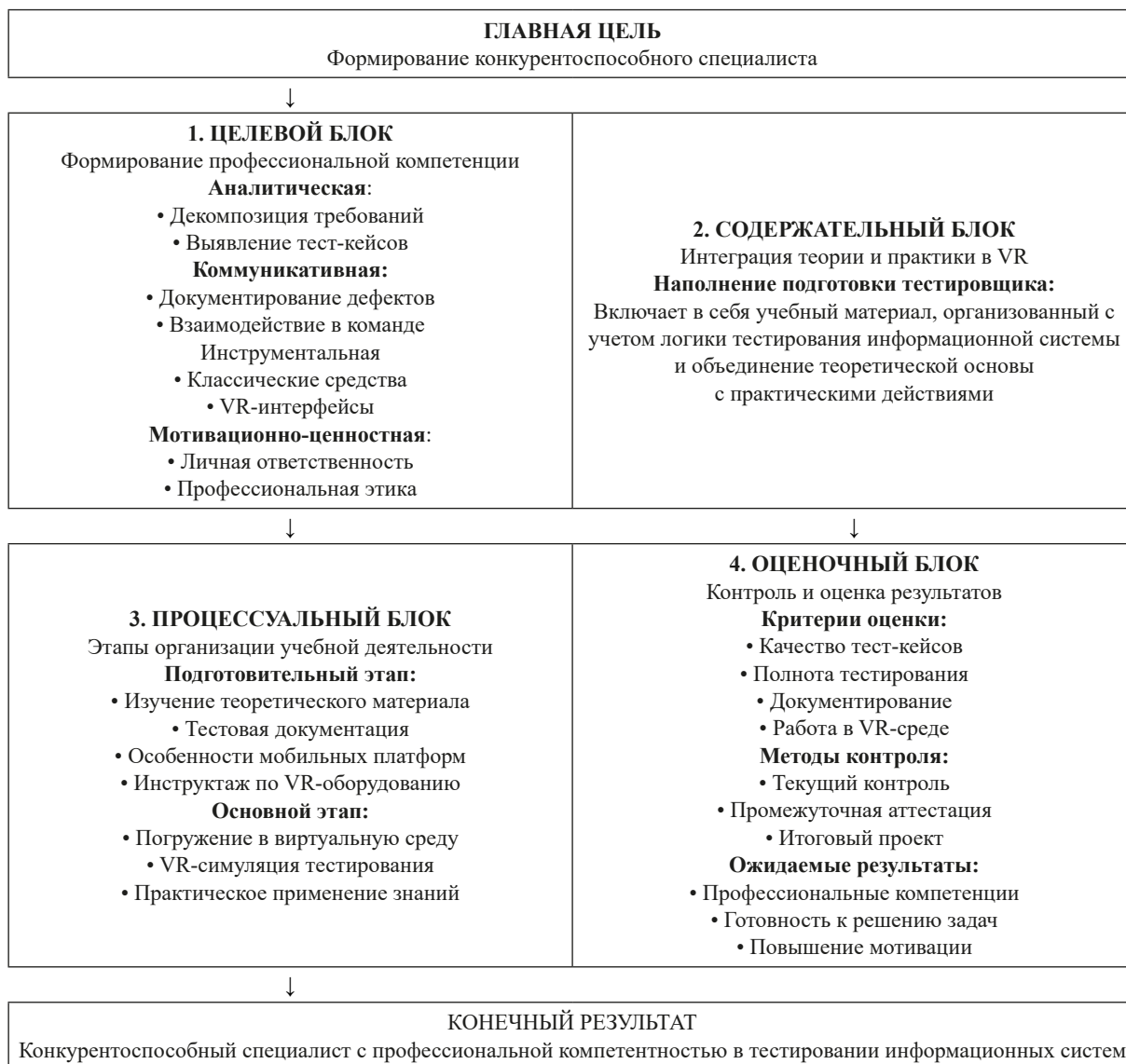


Рис. 1. Структура курса «Тестирование информационных систем с применением технологии виртуальной реальности»

литического мышления и осознания значимости качества программного продукта.

Пятым фактором выступает организация рефлексивной деятельности студентов. После выполнения лабораторных и проектных заданий обучающиеся анализируют допущенные ошибки, обсуждают качество тестовых сценариев, сопоставляют результаты разных видов тестирования, и оценивают собственный уровень профессиональной подготовки.

Содержание курса разработано с учетом принципов поэтапного усложнения профессиональных действий, интеграции теоретической и практической подготовки, а также использования иммерсивной среды в качестве средства

профессионального моделирования.

Структура курса представлена на рис. 1. Первый раздел направлен на формирование у студентов базовых представлений о тестировании информационных систем, его целях, задачах, видах и стандартах. На этом этапе рассматриваются понятия функционального, нефункционального, регрессионного, нагрузочного, интеграционного и исследовательского тестирования, а также особенности применения виртуальной реальности в образовательном процессе.

Цифровые технологии в образовании требуют переосмысления методов обучения и расширяют возможности визуализации и интерак-

Таблица 1. Уровни сформированности профессиональной компетентности тестировщика информационных систем

Уровень	Когнитивный компонент	Деятельностно-операционный компонент	Мотивационно-ценностный и личностный компонент	Рефлексивно-оценочный компонент
Начальный	Знание основных и простых терминов	Выполняет простые инструкции, анализирует готовые тест-кейсы, минимально владеет инструментами	Работает преимущественно под влиянием внешних стимулов, фокус узкий	Самооценка неустойчива, причины успехов и неудач осознаются слабо
Базовый	Знает основные виды, уровни, методы и техники тест-дизайна	Самостоятельно разрабатывает тест-кейсы и чек-листы, проводит ручное тестирование, начинает осваивать автоматизацию	Понимает важность качества ПО, взаимодействует в команде, имеет мотивацию	Оценивает сильные и слабые стороны, способен корректировать действия
Профессиональный	Понимает связи между методами тестирования и качеством ИС в жизненном цикле	Планирует тестирование сложных блоков, внедряет улучшения в процессы, создает устойчивые тестовые скрипты	Внутренняя мотивация, профессиональная идентичность, ответственность за качество процессов	Систематически анализирует причины дефектов, собирает обратную связь
Экспертный	Обладает системным знанием всех аспектов тестирования, свободно комбинирует техники	Разрабатывает комплексные тест-планы и стратегии, владеет продвинутой автоматизацией, оптимизирует процессы, анализирует риски	Высокая инициативность, критическое мышление, лидерство и развитая коммуникация	Постоянная саморефлексия, глубокий анализ эффективности методов и процессов

тивного взаимодействия.

Второй раздел посвящен специализированным методам тестирования, реализуемым с помощью VR-технологий. В ходе лабораторных занятий студенты выполняют функциональное тестирование отдельных элементов цифрового продукта, визуализируют потоки данных, исследуют поведение системы при изменении параметров, выполняют регрессионное тестирование после внесения изменений в программные модули, а также анализируют производительность и нагрузочную устойчивость приложения. Использование виртуальной реальности позволяет сделать невидимые процессы наглядными и повысить качество понимания тестовых процедур.

Третий раздел ориентирован на комплексное и исследовательское тестирование. Здесь студенты осуществляют кросс-платформенную проверку, исследуют поведение искусственного интеллекта, анализируют взаимодействие модулей, а также оценивают пользовательский опыт в виртуальной среде. Таким образом, виртуальная реальность расширяет методы и инструменты тестирования за счет большей интерактивности и моделирования сложных сценариев.

Самостоятельная работа студентов направлена на закрепление теоретических знаний и развитие практических навыков. Она включает:

- подготовку сценариев тестирования;
- разработку и корректировку тест-кейсов;
- выполнение анализа дефектов;
- подготовку видеодемонстрации VR-сцены;
- оформление итогового отчета по выполненному проекту.

В качестве итоговой аттестации предлагается зачетная работа в форме учебного проекта. Студенту необходимо создать или доработать VR-сцену, содержащую интерактивные элементы, простые связи искусственного интеллекта и несколько сценариев взаимодействия пользователя с системой, а затем провести все основные виды тестирования, изученные в ходе курса. Такой формат позволяет оценить комплексность подготовки, способность обучающегося самостоятельно применять знания и осуществлять профессиональный анализ [13].

Для оценки результатов обучения предлагается выделять четыре уровня сформированности профессиональной компетентности тести-

ровщика информационных систем: начальный, базовый, профессиональный и экспертный. Характеристика уровней представлена в табл. 1.

Выделенные уровни соотносятся с логикой компетентностного подхода и позволяют оценивать динамику профессионального становления обучающегося. Формирование компетентности предполагает последовательное развитие знаний, умений, мотивации и готовности к самостоятельному профессиональному действию.

Предлагаемая методика позволяет решить ряд актуальных задач подготовки будущих ИТ-специалистов. Во-первых, она обеспечивает связь между теоретическими знаниями и практической деятельностью. Во-вторых, использование виртуальной реальности создает условия для наглядного представления сложных процессов, связанных с функционированием и тестированием информационных систем. В-третьих, включение проектной и исследовательской деятельности способствует формированию у студентов профессионального мышления и способности к самостоятельному принятию решений.

Зарубежные исследователи также подтверждают высокий образовательный потенциал иммерсивных технологий. Так, *N. Pellas, S. Mystakidis, I. Kazanidis* связывают эффективность виртуальной реальности с высоким уровнем вовлеченности обучающихся. Использование виртуальной реальности особенно продуктивно в тех областях подготовки, где требуется отработка сложных практических действий. *VR-технологии в высшем образовании* целесообразны тогда, когда важно смоделировать среду, недоступную или трудновоспроизводимую в традиционном обучении [14, p. 835].

В контексте подготовки тестировщиков информационных систем это особенно важно, поскольку позволяет визуализировать процессы, которые в обычных условиях остаются скрытыми: потоки данных, изменение состояния системы, нагрузочные колебания, реакцию алгорит-

мов искусственного интеллекта и последствия модификации программных компонентов.

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы. Формирование профессиональной компетентности тестировщика информационных систем у будущих ИТ-специалистов является актуальной задачей, обусловленной требованиями цифровой экономики и ИТ-сектора.

Профессиональная компетентность тестировщика информационных систем включает когнитивный, деятельностно-операционный, мотивационно-ценностный и рефлексивно-оценочный компоненты.

Эффективность формирования данной компетентности обеспечивается совокупностью педагогических факторов: практико-ориентированным характером обучения, использованием технологий виртуальной реальности как среды профессионального моделирования, включением студентов в проектную деятельность, развитием мотивации и организацией рефлексии.

Разработанный курс «Тестирование информационных систем с применением технологий виртуальной реальности» позволяет формировать у студентов знания и навыки, необходимые для выполнения профессиональных функций тестировщика.

Использование технологий виртуальной реальности в обучении способствует повышению наглядности тестовых процедур, углублению понимания поведения информационных систем и приближению образовательного процесса к реальной профессиональной практике.

Перспективы дальнейших исследований связаны с экспериментальной проверкой эффективности предложенной методики в образовательном процессе вуза, разработкой диагностического инструментария для оценки динамики сформированности компетентности, а также расширением содержания курса за счет модулей по автоматизации тестирования, тестированию безопасности и взаимодействию тестировщика с командами разработки.

Литература

1. Козлов, А.В. Виртуальная и дополненная реальности в высшем техническом образовании / А.В. Козлов // Современное педагогическое образование. – 2023. – № 2. – С. 111–115. – EDN: YNZUZQ.
2. Корнеева, Н.Ю. Иммерсивные технологии в современном профессиональном образовании / Н.Ю. Корнеева, Н.В. Уварина // Современное педагогическое образование. – 2022. – № 6. – С. 17–22. – EDN: SXNQFD.

3. Лавина, Т.А. Подготовка по программированию бакалавров направления «Программная инженерия» с учетом концепции комплексного подхода к инженерному образованию / Т.А. Лавина, Е.А. Мытникова, Е.Т. Яруськина // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 7. – С. 160–166. – DOI: 10.17513/snt.39712. – EDN: DFOWOG.
4. Овчинникова, П.Р. Роль технологий дополненной и виртуальной реальности в подготовке специалиста по информационным системам / П.Р. Овчинникова, Т.А. Лавина // Грани познания. – 2025. – № 1(96). – С. 40–44. – EDN: CIRJEM.
5. Makransky, G. The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): a theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality / G. Makransky, G.B. Petersen // Educational Psychology Review. – 2021. – Vol. 33. – P. 937–958. – DOI: 10.1007/s10648-020-09586-2. – EDN: TJCZEQ.
6. Jensen, L. A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training / L. Jensen, F. Konradsen // Education and Information Technologies. – 2018. – Vol. 23. – No. 4. – P. 1515–1529. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-018-9762-2>. – DOI: 10.1007/s10639-017-9676-0.
7. Radianti, J. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: design elements, lessons learned, and research agenda / J. Radianti, T.A. Majchrzak, J. Fromm, I. Wohlgenannt // Computers & Education. – 2020. – Vol. 147. – Art. 103778. – P. 523–534. – DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103778. – EDN: JMYDLE.
8. Hunko, I. The role of virtual reality in improving software testing methods and tools / I. Hunko, O. Muliarevych, R. Trishchuk, S. Zybin, P. Halachev // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2024. – Vol. 102. – No. 11. – P. 4723–4734 [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.jatit.org/volumes/Vol102No11/14Vol102No11.pdf>.
9. Толмачева, С.В. Применение технологий виртуальной реальности в обучении: ценностный аспект (по результатам социологического исследования) / С.В. Толмачева, Л.А. Толмачева // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. – 2021. – № 3. – С. 123–138. – DOI: 10.31660/1993-1824-2021-3-123-138. – EDN: VNFFWP.
10. Шилов, Е.К. VR-технологии в профессиональном образовании / Е.К. Шилов // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сборник статей IX всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Екатеринбург, 19 мая 2022 г.) / под науч. ред. Б.Н. Гузанова. – Екатеринбург, 2022. – С. 240–248. – EDN: XABUGY.
11. Полевода, И.И. Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе / И.И. Полевода, А.Г. Иваницкий, А.С. Миканович, С.М. Пастухов, А.В. Грачулин, В.Н. Рябцев, О.Д. Навроцкий, А.О. Лихоманов, Г.В. Винярский, И.С. Гусаров // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6. – № 1. – С. 119–142. – DOI: 10.33408/2519-237x.2022.6-1.119. – EDN: FVSVOO.
12. Прокопьева, Т.В. Определение содержания профессиональной компетентности бакалавра профиля «Прикладная информатика в дизайне» на основе требований работодателей / Т.В. Прокопьева, Т.А. Лавина // Развитие образования. – 2025. – Т. 8. – № 1. – С. 53–59. – DOI: 10.31483/r-116238. – EDN: TFNNAM.
13. Цифровые технологии в образовании. Тенденции, проблемы, перспективы : монография / под общ. ред. науч. совета ГНИИ «Нацразвитие». – СПб. : Нацразвитие, 2023. – 80 с.
14. Pellas, N. Immersive virtual reality in K-12 and higher education: A systematic review of the last decade scientific literature / N. Pellas, S. Mystakidis, I. Kazanidis // Virtual Reality. – 2021. – Vol. 25. – No. 4. – P. 835–861 [Electronic resource]. – Access mode : <https://link.springer.com/article>. – DOI: 10.1007/s10055-020-00489-9. – EDN: JETSJB.

References

1. Kozlov, A.V. Virtual'naya i dopolnennaya real'nosti v vysshem tekhnicheskom obrazovanii / A.V. Kozlov // Sovremennoe pedagogicheskoe obrazovanie. – 2023. – № 2. – С. 111–115. – EDN: YNZUZQ.
2. Korneeva, N.YU. Immersivnye tekhnologii v sovremennom professional'nom obrazovanii /

N.YU. Korneeva, N.V. Uvarina // *Sovremennoe pedagogicheskoe obrazovanie*. – 2022. – № 6. – S. 17–22. – EDN: SXNQFD.

3. Lavina, T.A. Podgotovka po programmirovaniyu bakalavrov napravleniya «Programmnyaya inzheneriya» s uchetom koncepcii kompleksnogo podhoda k inzhenernomu obrazovaniyu / T.A. Lavina, E.A. Mytnikova, E.T. Yarus'kina // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. – 2023. – № 7. – S. 160–166. – DOI: 10.17513/snt.39712. – EDN: DFOWOG.

4. Ovchinnikova, P.R. Rol' tekhnologij dopolnennoj i virtual'noj real'nosti v podgotovke specialista po informacionnym sistemam / P.R. Ovchinnikova, T.A. Lavina // *Grani poznaniya*. – 2025. – № 1(96). – S. 40–44. – EDN: CIRJEM.

9. Tolmacheva, S.V. Primenenie tekhnologij virtual'noj real'nosti v obuchenii: cennostnyj aspekt (po rezul'tatam sociologicheskogo issledovaniya) / S.V. Tolmacheva, L.A. Tolmacheva // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Sociologiya. Ekonomika. Politika*. – 2021. – № 3. – S. 123–138. – DOI: 10.31660/1993-1824-2021-3-123-138. – EDN: VNFFWP.

10. SHilov, E.K. VR-tekhnologii v professional'nom obrazovanii / E.K. SHilov // *Tekhnicheskoe regulirovanie v edinom ekonomicheskom prostranstve : sbornik statej IX vs Rossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Ekaterinburg, 19 maya 2022 g.) / pod nauch. red. B.N. Guzanova*. – Ekaterinburg, 2022. – S. 240–248. – EDN: XABUGY.

11. Polevoda, I.I. Tekhnologii virtual'noj i dopolnennoj real'nosti v obrazovatel'nom processe / I.I. Polevoda, A.G. Ivanickij, A.S. Mikanovich, S.M. Pastuhov, A.V. Grachulin, V.N. Ryabcev, O.D. Navrockij, A.O. Lihomanov, G.V. Vinyarskij, I.S. Gusarov // *Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi*. – 2022. – T. 6. – № 1. – S. 119–142. – DOI: 10.33408/2519-237x.2022.6-1.119. – EDN: FVSVOO.

12. Prokop'eva, T.V. Opredelenie soderzhaniya professional'noj kompetentnosti bakalavra profilya «Prikladnaya informatika v dizajne» na osnove trebovanij rabotodatelej / T.V. Prokop'eva, T.A. Lavina // *Razvitie obrazovaniya*. – 2025. – T. 8. – № 1. – S. 53–59. – DOI: 10.31483/r-116238. – EDN: TFNNAM.

13. Cifrovye tekhnologii v obrazovanii. Tendencii, problemy, perspektivy : monografiya / pod obshch. red. nauch. soveta GNII «Nacrazvitie». – SPb. : Nacrazvitie, 2023. – 80 s.

© П.Р. Овчинникова, Т.А. Лавина, 2026

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОВАРЯ ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ У СТАРШИХ ДОШКОЛЬНИКОВ С ОБЩИМ НЕДОРАЗВИТИЕМ РЕЧИ III УРОВНЯ

Ю.С. ПЯШКУР, Л.И. ПОНОМАРЕВА

*ФГБОУ ВО «Шадринский государственный педагогический университет»,
г. Шадринск*

Ключевые слова и фразы: общее недоразвитие речи III уровня; старшие дошкольники; словарь прилагательных; лексико-семантическое развитие; грамматический строй речи; особенности; уровень развития; логопедическая работа.

Аннотация: В статье рассматриваются особенности формирования словаря прилагательных у старших дошкольников с общим недоразвитием речи III уровня. Описываются особенности усвоения прилагательных. У детей выявляются трудности понимания значений прилагательных и их употребления в собственной речи. В высказываниях отмечаются ошибки при выборе слов, замены признаков и нарушения согласования прилагательных с существительными. Значительные затруднения вызывает использование антонимов, а также относительных и притяжательных прилагательных. В статье показана необходимость целенаправленной логопедической работы, направленной на формирование словаря прилагательных. Определены направления коррекционной работы, включающие расширение активного словаря, уточнение значений прилагательных и закрепление навыков их употребления в самостоятельной речи детей с ОНР III уровня.

Целью данной статьи является актуализация знаний по вопросам становления словаря прилагательных у детей с нарушением речевого развития и предоставление результатов экспериментального изучения особенностей и уровня сформированности словаря прилагательных у старших дошкольников с ОНР III уровня.

Задачи исследования: проанализировать специальную литературу по проблеме исследования; экспериментальным путем установить особенности и определить исходный уровень словаря прилагательных у детей старшего дошкольного возраста с ОНР III уровня; обозначить направления коррекционно-развивающей работы по формированию словаря прилагательных у детей.

Гипотеза исследования: мы предполагаем, что словарь прилагательных у детей имеет ряд особенностей, имеет низкий уровень развития и находится на стадии формирования, следовательно, необходима специально организованная коррекционно-развивающая работа по его формированию.

Методы исследования: эксперимент, анализ, синтез, сравнение. Результаты: в статье представлены результаты изучения словаря прилагательных у детей старшего дошкольного возраста с ОНР III уровня.

Практическая значимость: полученные результаты могут быть полезны учителям-логопедам, воспитателям, родителям детей с ОНР III уровня для формирования словаря прилагательных.

Общее недоразвитие речи (ОНР) характеризуется несформированностью основных компонентов речевой системы при сохранном слухе и отсутствии первичных интеллектуальных нарушений. Нарушения затрагивают фонетико-фонематический и лексико-грамматический

уровни и проявляются в трудностях различения и произношения звуков, ограниченности словаря и ошибках грамматического оформления высказываний. Данные нарушения имеют характер слабого развития и связаны с особенностями функционирования высших психических

функций [3].

Согласно теории Р.Е. Левиной и Т.Б. Филичевой общее недоразвитие речи рассматривается как многоуровневое нарушение, отражающее степень сформированности языковых средств. В настоящее время выделяют четыре уровня ОНР. Самую распространенную группу среди детей с ОНР составляют дети, имеющие III уровень. Для ОНР III уровня характерно наличие развернутой фразовой речи при сохранении нарушений лексико-грамматического и фонетико-фонематического оформления высказываний. Дети с ОНР III уровня используют простые распространенные и отдельные формы сложных предложений, но допускают аграмматизмы, ошибки согласования и управления, а также испытывают трудности при употреблении сложных предлогов. При использовании словообразовательных моделей дети нередко искажают звуко-слоговую структуру слов [2].

Лексическая сторона речи является одним из ключевых компонентов речевого развития детей с ОНР. Словарь ребенка формируется неравномерно и включает как понимание значительного количества слов, так и ограниченное их использование в собственной речи. В логопедии различают пассивный словарь, отражающий уровень понимания лексических единиц, и активный словарь, характеризующий их реальное употребление. Для детей с ОНР типично выраженное расхождение между пассивным и активным словарем, что приводит к снижению речевой активности и затрудняет усвоение лексических и грамматических средств языка [3].

У детей с ОНР III уровня отмечаются значительные трудности в освоении слов, обозначающих признаки предметов. Слова, называющие качества и свойства, усваиваются медленно и редко используются в самостоятельной речи. Особенно затруднено употребление лексики обобщенного и отвлеченного характера. Недостаточность словаря прилагательных приводит к снижению точности и информативности речи, ограничивает возможности общения и негативно влияет на общее развитие ребенка, включая его готовность к школьному обучению.

Работа по развитию словаря у детей строится как целенаправленная логопедическая деятельность. Она включает формирование связи слова с обозначаемым предметом, усвоение его значения и понимание места слова среди других лексических единиц. Ребенок должен не только узнавать слово, но и соотносить его с

определенным содержанием и использовать в речи. Словарная работа направлена на расширение и уточнение словарного запаса, а также на активизацию ее употребления в самостоятельных высказываниях. У дошкольников с ОНР особое внимание уделяется формированию словаря имен прилагательных, поскольку данная категория развивается замедленно и требует целенаправленной логопедической помощи [3].

Недостаточная сформированность словаря прилагательных влияет на уровень развития связной речи дошкольников с ОНР. В их речи отмечаются неточности словоупотребления и вербальные парафазии, указывающие на недостаточную сформированность лексико-семантических связей. Дети испытывают трудности при установлении смысловых связей между словами и при выполнении заданий на семантическую группировку, которые особенно выражены при работе с прилагательными и глаголами. Ограниченный словарный запас затрудняет развернутое выражение мыслей и снижает возможности речевого общения.

Имена прилагательные выполняют функцию обозначения признаков и качеств предметов и обеспечивают уточнение характеристик объектов в высказывании. Употребление прилагательных повышает точность и выразительность речи. Расширение словаря прилагательных позволяет ребенку выделять существенные признаки предметов, лиц и явлений, которые становятся значимыми в процессе познания и общения [3].

Е.В. Васичева и Н.И. Отева указывают, что в процессе речевого развития имена прилагательные усваиваются позже, чем существительные и глаголы. На начальных этапах дети используют их с ошибками, в том числе нарушают порядок слов, располагая прилагательное после существительного. Формирование навыков словоизменения прилагательных начинается с ограниченного круга слов, обозначающих наглядные признаки предметов, такие как цвет, размер, вкус, температура, вес и оценка. К семи годам прилагательные составляют около 7 % словарного запаса ребенка, тогда как основную часть лексики образуют существительные и глаголы. Такая диспропорция связана с недостаточным использованием прилагательных во взрослой речи, адресованной детям. Ограниченность словаря прилагательных проявляется в ошибках словоизменения, словообразования и синтаксического оформления высказываний [1].

Имена прилагательные в речи выполняют не только лексическую, но и грамматическую функцию. У детей с речевыми нарушениями возникают трудности при выборе прилагательных и их сочетании с существительными по грамматическим правилам, что осложняет правильное оформление прилагательного в соответствии с его значением. Недостаточное усвоение грамматических форм прилагательных у детей с недоразвитием речи сопровождается семантическими трудностями. В результате в речи появляются устойчивые ошибки при выборе слов, не соответствующих ситуации ни по смыслу, ни по грамматическому оформлению [2]. Освоение грамматических форм имен прилагательных происходит поэтапно. Сначала дети используют прилагательные преимущественно в форме именительного падежа. Формы косвенных падежей появляются в речи значительно позже. Категория рода прилагательных формируется позднее, чем у существительных и глаголов. На начальном этапе дети одновременно используют формы мужского и женского рода, но часто допускают их смешение. Согласование прилагательных с существительными сначала устанавливается в мужском и женском роде, а формы среднего рода усваиваются на более позднем этапе речевого развития [3]. В отличие от нормативного онтогенеза, у дошкольников с ОНР III уровня наблюдаются выраженные лексические трудности. Наибольшие затруднения связаны с усвоением и употреблением антонимов, относительных прилагательных, малоупотребительной лексики и слов со сложной звуковой структурой, что ограничивает их использование в речи [2]. У детей наблюдаются стойкие трудности при назывании прилагательных, обозначающих цвета (например, «оранжевый», «сиреневый», «голубой», «синий»), тактильные признаки («гладкий», «пушистый») и характеристики формы и величины предметов. При объяснении значений таких прилагательных детям требуется помощь взрослого и повторное предъявление инструкции, что свидетельствует о недостаточной сформированности лексико-семантических представлений [3].

Лексические нарушения у детей проявляются в устойчивых заменах и смешениях имен прилагательных. Дети испытывают трудности при разграничении близких по значению признаков и при точном словесном обозначении их содержания. В речи часто фиксируются замены

оттеночных названий цветов базовыми, а также смешения прилагательных, различающихся по одному параметру признака. Подбор антонимов вызывает значительные затруднения, а использование синонимов оказывается еще более ограниченным [2].

Наиболее сложными являются задания на образование прилагательных. Часто фиксируются ошибки при формировании притяжательных, качественных и относительных прилагательных [1]. У дошкольников с общим недоразвитием речи III уровня наибольшие лексические трудности связаны с усвоением относительных прилагательных. Дети испытывают затруднения при их понимании и употреблении, что снижает точность описания предметов и их признаков [3].

При нарушении организации словаря прилагательных у дошкольников с ОНР в речи часто возникают замены слов, которые связаны с трудностями разграничения смысловых признаков и выполнением заданий на подбор антонимов и синонимов. Дети испытывают затруднения при уточнении значения прилагательных даже при помощи взрослого. Эффективность такой помощи ниже, чем у сверстников с нормальным речевым развитием [2].

Недостаточный уровень сформированности словаря прилагательных отрицательно влияет на развитие связной описательной речи. В собственной речи дети не используют многие прилагательные, доступные нормально развивающимся сверстникам, такие как «пушистый», «кислый», «узкий», «гладкий». Также отмечаются трудности в усвоении обобщенных значений слов, обозначающих состояние, качество и признаки предметов, и неточное словоупотребление, проявляющееся в вербальных парафазиях.

После анализа специальной литературы по вопросу формирования словаря прилагательных у детей с ОНР III уровня нами был организован эксперимент, направленный по изучению особенностей и уровня сформированности словаря прилагательных у детей с ОНР III уровня. Эксперимент проводился на базе муниципального бюджетного дошкольного учреждения «Детский сад комбинированного вида № 1» (МБДОУ «Детский сад № 1») в корпусе «Золотой ключик» по адресу г. Курган, ул. Савельева, д. 39а. В эксперименте приняли участие дети логопедической группы № 10 «Колосок» старшего дошкольного возраста (5–6 лет), име-

ющие заключение психолого-медико-педагогической комиссии – общее недоразвитие речи III уровня. Обследование детей проводилось нами с использованием диагностической методики Г.А. Волковой и Р.И. Лалаевой, Н.В. Серебряковой. Всего было предложено 5 заданий: подбор антонимов; подбор определения к словам; отгадать название предмета по описанию его признаков; образование относительных и притяжательных прилагательных.

По первому заданию, направленному на исследование способности подбирать антонимы к словам, низкий уровень развития выявлен у 57 % детей, в ответах которых фиксировались подмены антонимов словами, близкими по смыслу или ассоциативными («чистый – белый», «широкий – длинный», «высокий – большой»), а также замены прилагательных существительными («холодный – лед», «мокрый – вода»). Данные ошибки отражают ограниченность активного словаря и нестойкость представлений о признаках предметов. Средний уровень развития умения подбирать антонимы выявлен у 43 % старших дошкольников с ОНР III уровня. Дети понимали задание, но допускали ошибки и нуждались в поддержке логопеда. Типичными являлись неточные замены антонимов («смелый – злой», «грустный – плохой»), использование упрощенных ответов с отрицанием («веселый – не веселый», «хороший – не хороший») и ситуативное смешение признаков («тонкий – маленький»), что указывает на недостаточную дифференциацию значений прилагательных. Высокий уровень развития умения не выявлен, что указывает на недостаточную сформированность лексико-семантических связей и ограниченность словаря прилагательных у дошкольников с ОНР III уровня.

По второму заданию, направленному на подбор определения к словам, установлен средний уровень развития умения у 86 % старших дошкольников с ОНР III уровня. Дети в основном справлялись с заданием, но использовали однотипные и частотные прилагательные, допуская смысловые неточности. В ответах преобладали простые определения («дом – большой», «снег – белый»), отмечались повторения слов «хороший», «красивый», «большой», а также замена точных характеристик более общими («лимон – кислый» вместо «кисловатый», «шар – круглый» вместо «надувной»). Низкий уровень развития умения выявлен у 14 % старших дошкольников с ОНР III уровня, кото-

рые затруднялись в самостоятельном подборе определений и нуждались в помощи логопеда. У них фиксировались замены прилагательных словами других частей речи («лиса – хитрость», «снег – холод»), ситуативно неверные определения («травя – сладкая», «камень – мягкий») и отдельные случаи отказа от ответа, что свидетельствует о несформированности операции смыслового выбора и ограниченности словаря. Высокий уровень развития умения подбирать определения к словам не выявлен.

С помощью третьего задания «Отгадать название предмета по описанию его признаков» у детей старшего дошкольного возраста с ОНР III уровня в основном диагностирован низкий уровень умения соотносить словесное описание с предметом. 57 % старших дошкольников с ОНР III уровня часто ориентировались на случайные ассоциации, угадывали или отказывались от ответа. Например, по описанию «круглый, сладкий, растет на дереве» называли «шар» или «конфета» вместо «яблоко», а при признаках «длинный, оранжевый, растет в земле» – «палка» или «карандаш» вместо «морковь». Встречались ошибки при опоре на один общий признак («летает, с крыльями, поет» – «самолет»), что указывает на недостаточность смыслового анализа и слабость лексико-семантических связей. Средний уровень развития умения установлен у 43 % детей с ОНР III уровня, которые понимали задание, но выполняли его с затруднениями и при поддержке логопеда. Отмечались единичные ошибки, связанные со смешением близких по теме предметов: «зимой белый, прыгает, живет в лесу» – «кролик» вместо «заяц»; «красный, круглый, растет на грядке» – «яблоко» вместо «помидор». Высокий уровень развития умения анализировать признаки предметов и использовать их в речи не выявлен.

В ходе четвертого задания на образование притяжательных прилагательных дошкольники допускали многочисленные ошибки в суффиксальном оформлении притяжательных форм: «у лисы – лисовый хвост» вместо «лисий хвост», «волк – волковый след» вместо «волчий след», «папа – папинный» вместо «папин». Также отмечалось избегание образования прилагательного за счет замены конструкциями с существительным: «хвост лисы» – «лисий хвост», «дом у мамы» вместо «мамин дом». Например, у одного мальчика наблюдались незавершенные ответы и повтор исходного слова («мама... мама»,

«кот... кот»). Даже при частичном понимании смысла принадлежности дети не могли оформить ответ нормативно. Отсутствие среднего и высокого уровней подтверждает недостаточную сформированность морфологической стороны речи и трудности усвоения моделей образования притяжательных прилагательных. Таким образом, у всех старших дошкольников с ОНР III уровня (100 %) умение образовывать притяжательные прилагательные сформировано недостаточно, что указывает на выраженные трудности словообразования и морфологического оформления значения принадлежности.

Также у 100 % испытуемых с ОНР III уровня выявлен низкий уровень развития умения образовывать относительные прилагательные. В ходе пятого задания дошкольники допускали многочисленные ошибки в выборе суффиксов и словообразовательной модели. Наиболее типичными были искаженные формы: «дерево – деревовой стол» вместо «деревянный стол» или «стекло – стеклянная чашка» вместо «стеклянная чашка». Отмечались неверные варианты типа «кирпич – кирпичевый дом» вместо «кирпичный дом». Часто дети заменяли относительное прилагательное конструкцией с существительным: «стол из дерева», «чашка из стекла». У Юсифа М. часто наблюдались незавершенные ответы и повтор исходного слова («дерево... дерево», «стекло... стекло»). Средний и высокий уровни у детей старшего дошкольного возраста с ОНР III уровня не выявлен, что указывает на выраженные трудности словообразования и морфологического оформления связи между предметом и материалом.

Проанализировав и обобщив полученные данные диагностики, мы установили средний уровень развития словаря прилагательных у 43 % детей, которые понимали задания, но использовали ограниченный запас прилагательных и допускали смысловые неточности. Отмечались подмены точных характеристик более общими («высокий – большой», «широкий – длинный», «чистый – белый») и упрощенные определения («снег – белый», «дом – большой»). При отгадывании предмета по описанию дети не учитывали все признаки, что приводило к смешению объектов («зимой белый, прыгает, живет в лесу» – «кролик» вместо «заяц»; «красное, круглое, растет на грядке» – «яблоко» вместо «помидор»).

Уровень ниже среднего также установлен у 43 % старших дошкольников с ОНР III уровня,

которые затруднялись при самостоятельном подборе слов и нуждались в постоянной помощи. В заданиях на подбор антонимов фиксировались неточные замены («смелый – злой», «грустный – плохой»), ответы через отрицание («веселый – не веселый», «хороший – не хороший») и смешение признаков предмета («тонкий – маленький»). При выполнении словообразовательных заданий отмечались ошибки в образовании притяжательных и относительных прилагательных («лиса – лисовый хвост», «волк – волковый след», «дерево – деревовой стол», «стекло – стеклянная чашка»), а также замены на конструкции с существительными («хвост лисы», «стол из дерева»).

Низкий уровень выявлен у 14 % детей, у которых выполнение заданий сопровождалось большим количеством ошибок и отсутствием самостоятельности. В ответах встречались замены прилагательных существительными: «мокрый – вода», «холодный – лед». Также отмечалось угадывание по одному общему признаку. Высокий и выше среднего уровни не выявлены.

Таким образом, анализ результатов исследования позволил выявить как количественные, так и качественные особенности развития словаря прилагательных у детей с ОНР III уровня. Полученные результаты подтверждают необходимость проведения коррекционно-развивающей работы, направленной на развитие словообразовательных навыков, расширение и активизацию словаря прилагательных, а также развитие грамматического строя речи.

Коррекционно-развивающая работа с детьми с общим недоразвитием речи III уровня организуется как продолжительный и систематический процесс. Основной задачей данной работы является формирование лексико-грамматических средств языка. Усвоение языковых категорий осуществляется поэтапно с их последующим включением в самостоятельную речь ребенка. В содержании коррекционной работы выделяются лексический и грамматический блоки. Лексический блок направлен на пополнение активного словаря, обучение подбору синонимов и антонимов, усвоение и объяснение обобщенных значений слов, а также на классификацию предметов по существенным признакам. Грамматический блок включает формирование навыков согласования имен прилагательных с существительными в роде, числе, падеже и обучение образованию относительных и притяжательных прилагательных [1].

С учетом выявленных особенностей словаря имен прилагательных у дошкольников с ОНР III уровня логопедическая работа проводится поэтапно и систематически. Логопедические занятия включают дидактические игры, предметные и сюжетные картинки, а также упражнения на сравнение, классификацию и описание предметов, что способствует активизации словаря прилагательных и повышению точности и развернутости связной речи у детей с ОНР III уровня.

Обобщение данных позволяет определить основные направления логопедической работы по развитию словаря прилагательных у детей с ОНР III уровня.

1. Расширение и активизация словаря прилагательных у детей с ОНР III уровня за счет преодоления расхождения между пассивным и активным словарем [3].

2. Формирование лексической системности прилагательных путем уточнения значений прилагательных, становления устойчивых семантических связей, что снижает количество неточностей словоупотребления в самостоятельной речи [2].

3. Развитие словообразовательных навыков, что включает освоение суффиксальных моделей образования прилагательных от существительных, глаголов и прилагательных [3].

4. Развитие фонематического восприятия и слуховой дифференциации, что обеспечивает точное восприятие звукового состава прилагательных и предупреждение искажения при их словообразовании и употреблении в речи.

5. Формирование грамматических категорий, направленное на освоение согласования с существительными в роде, числе и падеже, а также правильное употребление относительных и притяжательных прилагательных.

6. Автоматизация использования прилагательных в связной речи (перенос лексико-грамматических умений в спонтанную речь).

7. Реализация комплексного и дифференцированного подхода, основанного на междисциплинарном взаимодействии логопеда, педагога и родителей, что обеспечивает устойчивость сформированных навыков [2].

Таким образом, развитие словаря прилагательных у старших дошкольников с ОНР III уровня является важным направлением логопедической работы, поскольку его недостаточная сформированность приводит к снижению точности и развернутости связных высказываний. У детей наблюдаются ограниченность активного словаря, трудности дифференциации значений, а также нарушения словообразования и грамматического оформления. Поэтому коррекционная работа должна носить поэтапный и системный характер, а также включать расширение и активизацию словаря прилагательных, уточнение их значений, формирование лексико-семантических связей и закрепление правильного употребления прилагательных в спонтанной речи детей.

Литература

1. Васичева, Е.В. Исследование словаря прилагательных у дошкольников с общим недоразвитием речи / Е.В. Васичева // Научное обозрение: актуальные вопросы теории и практики : сборник статей XVI Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2025. – С. 93–96. – EDN: NZVJMR.

2. Вернидуб, О.В. Этапы работы по развитию у детей 5–6 лет с общим недоразвитием речи (ОНР III уровня) связной монологической речи посредством игры «Активити» / О.В. Вернидуб // Социально-педагогические вопросы образования и воспитания : материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары, 2022. – С. 275–276. – EDN: KYLOII.

3. Коротовских, Т.В. Исследование нарушений грамматического строя речи у детей с билингвизмом / Т.В. Коротовских, Ю.С. Пяшкур // Глобальный научный потенциал. – СПб. : ТМБпринт. – 2022. – № 5(134). – С. 73–79. – EDN: OCCJAW.

References

1. Vasichieva, E.V. Issledovanie slovarya prilagatel'nyh u doshkol'nikov s obshchim nedorazvitiem rechi / E.V. Vasichieva // Nauchnoe obozrenie: aktual'nye voprosy teorii i praktiki : sbornik statej XVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Penza, 2025. – S. 93–96. – EDN: NZVJMR.

2. Vernidub, O.V. Etapy raboty po razvitiyu u detej 5–6 let s obshchim nedorazvitiem rechi (ONR III urovnya) svyaznoj monologicheskoy rechi posredstvom igry «Aktiviti» / O.V. Vernidub // Social'no-pedagogicheskie voprosy obrazovaniya i vospitaniya : materialy III Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – CHEboksary, 2022. – S. 275–276. – EDN: KYLOII.

3. Korotovskih, T.V. Issledovanie narushenij grammaticheskogo stroya rechi u detej s bilingvizmom / T.V. Korotovskih, YU.S. Pyashkur // Global'nyj nauchnyj potencial. – SPb. : TMBprint. – 2022. – № 5(134). – S. 73–79. – EDN: OCCJAW.

© Ю.С. Пяшкур, Л.И. Пономарева, 2026

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ТАКТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИГРЫ НА ПОДАЧЕ И ПРИЕМЕ У КИТАЙСКОЙ ТЕННИСИСТКИ СУНЬ ИНША

М.И. СЕВЕРЬЯНОВА, ТЯНЬ ЛУ

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
г. Якутск

Ключевые слова и фразы: Сунь Инша; настольный теннис; подача; прием; техника; тактика; анализ соревновательной деятельности.

Аннотация: В статье представлен анализ технико-тактических характеристик игры на подаче и приеме китайской теннисистки Сунь Инша, одного из лидеров современного мирового настольного тенниса. Цель исследования – выявить и систематизировать ключевые технико-тактические элементы игры на подаче и приеме, обеспечивающие высокую соревновательную результативность китайской теннисистки Сунь Инша.

Задачи исследования: проанализировать протоколы соревновательной деятельности Сунь Инша в шести официальных матчах международных турниров *WTT* за 2024–2025 гг.; выявить основные типы подач, используемые теннисисткой, и определить их частоту и эффективность; проанализировать типы приема подачи, применяемые Сунь Инша, и последующие тактические действия после приема; разработать количественные характеристики эффективности игры на подаче и приеме в различных фазах розыгрыша.

Гипотеза исследования состояла в предположении, что Сунь Инша демонстрирует высокоэффективную модель игры на подаче и приеме, основанную на доминировании коротких подач с минимальным вращением в центр стола и активного приема с флипом справа, что обеспечивает ей возможность перехватывать инициативу в розыгрыше уже на начальных стадиях.

Методы исследования: педагогическое наблюдение и видеонализ с использованием стоп-кадра и замедленного воспроизведения, статистическая обработка данных, контент-анализ и экспертная оценка.

Результаты исследования: установлено, что основной тактической стратегией на подаче является короткая подача с нижним вращением в центр стола. После подачи доминирует атака флипом справа из центра стола на 2–3-м ударе. На приеме приоритет отдается короткому активному приему флипом справа и приему подставкой (блоком) с последующей контратакой. Сунь Инша сочетает классическую китайскую техническую школу с агрессивным, проактивным стилем игры на подаче и приеме, что является эталонной моделью для подготовки юных спортсменов.

Введение

В современном настольном теннисе китайская школа игры занимает доминирующее положение на международной арене. Спортсмены из Китая на протяжении последних двух десятилетий последовательно завоевывают золотые медали на Олимпийских играх, чемпионатах мира и Азии, а также на турнирах Мировой серии *WTT*. Одной из ярчайших представительниц современного китайского настольного

тенниса является Сунь Инша (*Sun Yingsha*), занимающая на протяжении последних двух лет первую строчку мирового рейтинга. Ее игровой стиль сочетает в себе элементы классической китайской технической школы и агрессивную, инициативную тактику, что делает ее эталоном для подражания для юных теннисистов во всем мире [1].

Проблема анализа технико-тактической подготовленности высококлассных спортсменов является одной из ключевых в современной

науке о настольном теннисе. Многие исследователи [2; 3; 4] отмечают, что победа в современном настольном теннисе в значительной степени определяется эффективностью игры на подаче и приеме – двух начальных фазах розыгрыша очка, которые задают тон всей дальнейшей тактической борьбе. подача и прием не только позволяют напрямую выигрывать очки, но и создают условия для последующих атакующих действий. Однако, несмотря на очевидную значимость данного вопроса, детальный анализ технико-тактических характеристик игры на подаче и приеме у спортсменов топ-уровня, в частности у Сунь Инша, представлен в доступной литературе недостаточно полно. Большинство работ носят общий описательный характер либо сфокусированы на мужском теннисе [5; 6]. Таким образом, возникает противоречие между высокой значимостью данного аспекта для практики подготовки спортивного резерва и недостаточной степенью его изученности применительно к ведущим теннисисткам современности.

Цель исследования – выявить и систематизировать ключевые технико-тактические элементы игры на подаче и приеме, обеспечивающие высокую соревновательную результативность китайской теннисистки Сунь Инша.

Объектом исследования выступила соревновательная деятельность китайской теннисистки Сунь Инша. Предметом исследования явились технико-тактические характеристики выполнения подачи и приема.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые представлен детальный количественный анализ технико-тактических характеристик игры на подаче и приеме у китайской теннисистки Сунь Инша, включающий не только их эффективность в баллах, но и типичные тактические комбинации после начальных ударов. Теоретическая и практическая значимость результатов исследования состоит в том, что полученные данные могут быть использованы в тренировочном процессе юных теннисисток при отработке элементов подачи и приема.

Методы исследования

1. *Педагогическое наблюдение и видеонализ.* На основе видеозаписей фиксировались все розыгрыши очка, в которых подача или прием были выполнены Сунь Инша. Для каждого розыгрыша заполнялся протокол. Использо-

валась функция стоп-кадра и замедленного воспроизведения (25 кадров/с).

2. *Статистическая обработка данных.* Для каждого типа подачи и приема рассчитывались: частота использования (в % от общего числа), абсолютная и относительная эффективность (процент выигранных очков).

3. *Контент-анализ и экспертная оценка.* Для верификации результатов проведен анализ технико-тактических действий тремя независимыми экспертами – тренерами по настольному теннису.

Материалом для анализа послужили видеозаписи шести официальных матчей Сунь Инша на турнирах Мировой серии *World Table Tennis (WTT)*, проведенных в 2024–2025 гг. Всего проанализировано 486 розыгрышей очка с участием подачи Сунь Инша и 472 розыгрыша с приемом ее соперниц (т.е. подачей, которую принимала Сунь Инша).

Анализ подачи Сунь Инша

Общее количество проанализированных подач Сунь Инша составило 486. Среди них: выигрыш очка напрямую с подачи (эйс) зафиксирован в 27 случаях (5,6 %); выигрыш очка на 2-м ударе после подачи – 112 розыгрышей (23,0 %); выигрыш на 3-м и последующих ударах – 134 розыгрыша (27,6 %); проигрыш очка – 213 розыгрышей (43,8 %). Общая эффективность подач (процент выигранных розыгрышей при своей подаче) составила 56,2 %.

Анализ показывает, что Сунь Инша не имеет сверхсильной подачи, приносящей большое количество прямых эйсов (всего 5,6 %). Ее главная задача – не выиграть очко сразу, а создать себе комфортные условия для атаки на 2-м или 3-м ударе. Суммарно 50,6 % розыгрышей на своей подаче завершаются ее победой в первые три удара, что является очень высоким показателем для женского настольного тенниса [2]. Наиболее часто (42,3 % всех подач) Сунь Инша использует короткую подачу со слабым нижним вращением в центр стола соперницы. Это классическая «китайская» подача, задача которой – заставить соперницу выполнять короткий пассивный прием (срезку или подставку) в центр, после чего Сунь Инша производит резкий активный удар справа (флип) по диагонали или по линии. Эффективность данной подачи – 71,8 %, что достоверно выше, чем в среднем (56,2 %, $p < 0,01$). Второй по частоте

тип – короткая подача с боковым вращением («маятник») в левый угол соперницы (17,9 %, эффективность 64,4 %). Здесь ключевым является отскок в сторону – мяч уходит влево, и соперница вынуждена принимать его в движении, что снижает качество приема. Третий по частоте тип – длинная «кинжальная» подача в правый угол (12,8 %, эффективность 58,1 %). Этот тип является «сюрпризным» и используется обычно в решающие моменты партии, когда соперница привыкает к коротким подачам и смещается ближе к столу. Таким образом, основу тактики на подаче у Сунь Инша составляет стратегия «короткая – атака»: короткая подача в центр (реже – с вращением) с последующим агрессивным флипом справа на 2–3-м ударе.

Анализ тактических комбинаций после подачи

Были проанализированы все розыгрыши, в которых подача Сунь Инша была принята соперницей, и теннисистка выполняла второй или третий удар ($n = 459$). Основной тактической комбинацией Сунь Инша на подаче является третий удар – атака флипом справа из центра стола (34,6 % всех действий после приема). Эффективность этой комбинации – 72,3 %, что является экстремально высоким показателем. Сунь Инша предвидит, куда соперница примет короткую подачу (обычно в центр), и за долю секунды до удара соперницы начинает движение к мячу. Флип выполняется с минимальной амплитудой, очень быстро, кистевым движением, что создает эффект неожиданности [3].

Анализ приема подачи Сунь Инша

Общее количество проанализированных приемов подачи Сунь Инша составило 472. Общая эффективность игры на приеме – 51,7 % (выигрыш очка при приеме чужой подачи). Наиболее часто (39,2 %) Сунь Инша использует активный короткий прием флипом справа. Это главное оружие Сунь Инша на приеме – ей удается «перехватить» инициативу даже при приеме короткой, хорошо закрученной подачи. Флип выполняется с форхенд-зоны даже на приеме в левый угол (за счет работы ног и переноса центра тяжести). Эффективность этого при-

ема – 62,7 %, что существенно выше, чем на длинной подрезке (57,1 %) или тем более короткой срезке (43,8 %). Второй по частоте тип – прием подставкой (блоком) с контратакой (28,4 %). Эта стратегия используется против очень сильных и длинных подач, когда активный прием опасен. Сунь Инша занимает нейтральную позицию, ставит ракетку под мяч (блок) и затем, после блока, контратакует на 2–3-м ударе. Эффективность данной стратегии – 58,2 %.

Анализ тактических действий после приема подачи

Анализ показывает, что в 40,9 % случаев после приема Сунь Инша переходит в немедленную атаку на 2-м ударе. Это очень высокий показатель для женского настольного тенниса, где традиционно доминирует более «спокойная» игра на приеме [4]. Сунь Инша разрушает этот стереотип и демонстрирует модель агрессивного, инициативного тенниса даже на приеме.

Заключение

Проведенное исследование технико-тактических характеристик игры на подаче и приеме у китайской теннисистки Сунь Инша позволяет сформулировать следующие наиболее общие выводы: Наиболее частые подачи: короткая с нижним вращением в центр (42,3 %, эффективность 71,8 %) и короткая с боковым вращением в левый угол (17,9 %, эффективность 64,4 %). На приеме Сунь Инша демонстрирует уникальную агрессивную модель: доля активных приемов флипом справа составляет 39,2 % (эффективность 62,7 %), что значительно выше, чем у других ведущих теннисисток (28–31 %). Тактическая философия Сунь Инша может быть сформулирована как «агрессивная инициатива на приеме и контролируемая атака на подаче с минимизацией риска». Сунь Инша сочетает классическую китайскую техническую школу с агрессивной, инициативной тактикой как на подаче, так и на приеме, что полностью подтверждено. Полученные количественные данные позволили выявить конкретные типы ударов и их эффективность.

Литература

1. Барчукова, Г.В. Сравнительный анализ соревновательной деятельности сильнейших азиатских и российских игроков в настольном теннисе / Г.В. Барчукова, Д. Цянь // Экстремальная деятельность человека. – 2025. – № 3(73). – С. 18–24. – EDN: VXJOWI.
2. Кобылянский, Д.М. Повышение эффективности игры спортсмена в настольном теннисе за счет применения комбинационной техники / Д.М. Кобылянский, И.П. Шлее // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 10-1. – С. 141–145. – DOI: 10.17513/snt.39361. – EDN: YYXUSQ.
3. Мамишев, И.Э. Оптимизация процесса технической подготовки теннисистов учебно-тренировочных групп / И.Э. Мамишев, Л.А. Дмитренко // Физическая культура и спорт. Олимпийское образование : материалы международной научно-практической конференции. – Краснодар, 2024. – С. 60–63. – EDN: WWJPPE.
4. Дмитренко, Л.А. Соотношение видов и направленности подготовки теннисисток в тренировочном микроцикле / Л.А. Дмитренко, А.В. Матризаева // Спортивные игры в физическом воспитании, рекреации и спорте : материалы XVIII Международной научно-практической конференции. – Смоленск, 2024. – С. 75–79. – EDN: XSUZH.
5. Исмаилов, С.Ф. Индивидуальный подход в подготовке спортсменов, занимающихся настольным теннисом, на этапе совершенствования спортивного мастерства / С.Ф. Исмаилов, С.В. Садыкова, М.И. Галютдинов // SMART SPORT & TOURISM: цифровая трансформация в сфере физической культуры, спорта и туризма : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в рамках Международного форума KAZAN DIGITAL WEEK-2022. – Казань, 2022. – С. 135–138. – EDN: BMEPGM.
6. Чжай, С. Программно-методические особенности подготовки тренеров по настольному теннису в вузах Китая / С. Чжай, Л.Г. Рыжкова, А.И. Лаптев, Э. Го // Теория и практика физической культуры. – 2023. – № 5. – С. 84–86. – EDN: BTMLJF.

References

1. Barchukova, G.V. Sravnitel'nyj analiz sorevnovatel'noj deyatel'nosti sil'nejshih aziatskih i rossijskih igrokov v nastol'nom tennise / G.V. Barchukova, D. Cyan' // Ekstremal'naya deyatel'nost' cheloveka. – 2025. – № 3(73). – S. 18–24. – EDN: VXJOWI.
2. Kobylanskij, D.M. Povyshenie effektivnosti igry sportsmena v nastol'nom tennise za schet primeneniya kombinacionnoj tekhniki / D.M. Kobylanskij, I.P. SHlee // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2022. – № 10-1. – S. 141–145. – DOI: 10.17513/snt.39361. – EDN: YYXUSQ.
3. Mamishev, I.E. Optimizaciya processa tekhnicheskoy podgotovki tennisistov uchebno-trenirovochnyh grupp / I.E. Mamishev, L.A. Dmitrenko // Fizicheskaya kul'tura i sport. Olimpijskoe obrazovanie : materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Krasnodar, 2024. – S. 60–63. – EDN: WWJPPE.
4. Dmitrenko, L.A. Sootnoshenie vidov i napravlenosti podgotovki tennisistok v trenirovochnom mikrocikle / L.A. Dmitrenko, A.V. Matrizaeva // Sportivnye igry v fizicheskom vospitanii, rekreacii i sporte : materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Smolensk, 2024. – S. 75–79. – EDN: XSUZH.
5. Ismailov, S.F. Individual'nyj podhod v podgotovke sportsmenov, zanimayushchihsya nastol'nym tennisom, na etape sovershenstvovaniya sportivnogo masterstva / S.F. Ismailov, S.V. Sadykova, M.I. Galyautdinov // SMART SPORT & TOURISM: cifrovaya transformaciya v sfere fizicheskoy kul'tury, sporta i turizma : materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkah Mezhdunarodnogo foruma KAZAN DIGITAL WEEK-2022. – Kazan', 2022. – S. 135–138. – EDN: BMEPGM.
6. CHzhaj, S. Programmno-metodicheskie osobennosti podgotovki trenerov po nastol'nomu tennisu v vuzah Kitaya / S. CHzhaj, L.G. Ryzhkova, A.I. Laptev, E. Go // Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. – 2023. – № 5. – S. 84–86. – EDN: BTMLJF.

СИНТАКСИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ В РУССКИХ ПЕРЕВОДАХ «ЛУНЬ ЮЙ» НА ОСНОВЕ КОММУНИКАТИВНОЙ ГРАММАТИКИ

ЧЖАН СЮЭЛИНЬ, ВАН ЦЗЯНЬЛИ

*Хэйхэский университет, г. Хэйхэ (Китай);
Пекинский университет языка и культуры, г. Пекин (Китай)*

Ключевые слова и фразы: коммуникативная грамматика; «Лунь Юй»; русские варианты перевода; синтаксическая функция; коммуникативная адаптация; культурная коммуникация.

Аннотация: В рамках теории коммуникативной грамматики исследование посвящено классическим русским переводам «Лунь Юй». Цель исследования заключается в том, чтобы раскрыть закономерности синтаксической реконструкции и механизмы коммуникативной адаптации в этих переводах. Гипотеза исследования состоит в том, что синтаксические трансформации являются ключевым средством реализации коммуникативных функций оригинала, а коммуникативная грамматика позволяет их системно выявить. Метод исследования включает анализ примеров из классических переводов, сравнение синтаксических структур и применение теории коммуникативной грамматики. Исследование предлагает новые подходы для эффективного внешнего перевода китайских классических текстов.

Коммуникативная грамматика возникла в середине XX в. в рамках традиции функциональной лингвистики, ее основное положение заключается в том, что сущностная характеристика языка – это коммуникация, а выбор и организация грамматических форм неизменно подчиняются конкретным коммуникативным целям. Данная грамматика акцентирует внимание на дискурсивных функциях как отправной точке, рассматривая информационную структуру предложений (тема – рема), прагматические намерения, дискурсивные роли, контекстные ограничения и связность текста, преодолевает ограниченность традиционного структурализма, который фокусировался исключительно на формах. Это открывает для исследований перевода, особенно перевода классических текстов, более приближенный вариант к реальному использованию языка, когда важен аналитический подход.

«Лунь Юй» как фундаментальное произведение конфуцианской культуры является наиболее репрезентативным дискурсивным текстом традиционной китайской культуры. Вся книга построена на цитатном, диалогическом и пословичном стиле, отличается лаконичностью

языка, компактностью структуры и сжатой логикой, сочетая в себе такие коммуникативные функции, как нравственное воспитание, межличностное взаимодействие, ценностное оценивание и политическое руководство.

С XIX в. «Лунь Юй» прошел в России почти трехвековой путь перевода и изданий, в результате чего появился ряд профессиональных переводов, среди которых выделяются работы В.П. Васильева, П.С. Попова, Л.С. Переломова, И.И. Семенов, В.В. Мальвина и других, сформировавшие относительно устойчивую традицию перевода произведения на русский язык [2]. В настоящее время в научном сообществе уже получены значительные результаты исследований русских переводов «Лунь Юй», которые преимущественно сосредоточены на систематизации переводческих стратегий, обработке культурно значимых лексем, распространении ключевых концепций конфуцианства, эволюции образа Конфуция в историческом контексте переводов и других аспектах. Однако большинство существующих исследований проводится с позиций традиционной теории перевода, герменевтики, культурных исследований или сравнительной литературы, в то время

как из перспектив функциональной лингвистики – в частности, коммуникативной грамматики – редко осуществляется систематическое рассмотрение таких вопросов, как в переводах синтаксическая организация текста влияет на полноту информации и передачу культурных смыслов.

С учетом названных нами недостатков в данной работе мы ставим цель: проанализировать закономерности синтаксического строя и механизмы коммуникативной адаптации текстов «Лунь Юй» в русских переводах П.С. Попова, Л.С. Переломова и других, рассмотрев четыре аспекта: реструктуризацию информационной структуры, преобразование синтаксических функций, реализацию уровневых преобразований и компенсацию межкультурной коммуникации; предложить новые идеи для углубления лингвистических исследований внешнего перевода классических текстов [1].

Совместимость между коммуникативной грамматикой и переводом «Лунь Юй»

Основное теоретическое ядро коммуникативной грамматики можно конкретизировать в виде трех базовых положений: во-первых, грамматика не является абстрактным набором правил, а функционирует как система, служащая коммуникации; во-вторых, информационная структура предложений подчиняется порядку темы (известная информация) – ремы (новая информация); в-третьих, различные коммуникативные функции соответствуют специфическим синтаксическим, стилистическим и дискурсивным стратегиям. Данная теория демонстрирует высокую внутреннюю совместимость с практикой перевода «Лунь Юй» на русский язык.

Начнем с того, что «Лунь Юй» сам по себе представляет собой высокоорганизованный коммуникативный текст. В нем не столько чисто литературное повествование, сколько речевое действие, направленное на нравственное назидание, осуществляемое через диалоги между учителем и учениками, в которых высказываются ценностные суждения относительно норм поведения, при этом каждое высказывание содержит четкое коммуникативное намерение, поэтому при переводе необходимо в первую очередь обеспечивать эквивалентность коммуникативных функций.

Во-вторых, синтаксис «Лунь Юй» характеризуется ярко выраженными функциональ-

ными особенностями: преимущество коротких предложений, широкое использование сжатых конструкций, частые параллели и антитезы, доминирование утвердительных предложений и высокая диалогичность. Эти особенности требуют большей свободы в синтаксической организации текста, чтобы быть понятными русским читателям, чтобы сам процесс реконструкции являлся бы ярким проявлением принципа «форма подчиняется функции», на который акцентирует внимание коммуникативная грамматика.

В-третьих, «Лунь Юй» содержит большое количество культурно значимых лексем, ритуальных аллюзий и философских концепций, отсутствующих в русском языке. Коммуникативная грамматика подчеркивает важность контекстной поддержки, ясности смысла и доступности для аудитории – это предоставляет прямое теоретическое обоснование для использования в переводах компенсационных средств: пояснения, дополнения и комментариев.

Таким образом, исследование русских переводов «Лунь Юй» через призму коммуникативной грамматики позволяет не только раскрыть механизмы языкового функционирования переводов, но и в корне осознать коммуникативную сущность перевода классических текстов.

Реструктуризация информационной структуры в переводе «Лунь Юй»

Информационная структура – ядро коммуникативной грамматики, определяющее расположение известной и новой информации в предложении. Древнекитайский язык в «Лунь Юй» строится на приоритете темы (известная информация), тогда как русский язык предпочитает субъектно-предикативную структуру с явным выделением ремы (новой информации). Эти различия требуют адаптации при переводе.

Преобразование темы в грамматический субъект

В «Лунь Юй» большинство предложений построены на структуре «тема + комментарий». При переводе П.С. Попов, Л.С. Переломов преобразуют тему в грамматический субъект, например, высказывание «Учиться, но не размышлять – бесполезно» переведено как «Учение без размышлений бесполезно», сохраняя параллелизм и воспитательный смысл [2].

Расщепление компактных предложений

Текст «Лунь Юй» часто использует сжатые конструкции, которые требуют расширения для соответствия правилам русского языка. Л.С. Переломов при переводе высказывания «Красивые речи портят нрав» использовал структуру «Красивые речи портят нравственный облик», а П.С. Попов при переводе «Маленькое не терпеть, большое не держать» преобразовал в «Если не можешь терпеть мелочей – не сумеешь удержать большое», сохраняя логику и стиль оригинала [2].

Таким образом, адаптивные стратегии (преобразование темы, расщепление предложений) обеспечивают точную передачу смысла и соответствие коммуникативным целям перевода.

Преобразование синтаксических функций в переводе «Лунь Юй»: синтаксическая реализация коммуникативных намерений

Согласно коммуникативной грамматике, дискурсивная функция определяет синтаксическую форму. В русских переводах «Лунь Юй» вокруг четырех ключевых функций – назидательной, диалогической, повествовательной и оценочной – сформированы устойчивые и обобщаемые синтаксические стратегии, соответствующие специфике текста и требованиям русского языка.

Назидательная функция: утвердительные предложения + симметрические структуры

Назидание является ключевой коммуникативной функцией «Лунь Юй». В переводах широко используются параллельные структуры, контрастные конструкции и парные прилагательные, что усиливает пословищность и убедительность текста. Например, высказывание «Благородный муж спокоен, но не гордится; низкий человек гордится, но не спокоен» в переводе Л.С. Переломова представлено в виде: «Благородный муж спокоен, но не гордится; низкий человек гордится, но не спокоен». Симметрические структуры и антонимические противопоставления делают нравственное суждение наглядным и сильным, полностью соответствуя особенностям русского назидательного стиля [3].

Диалогическая функция: маркеры вопроса-ответа + восстановление взаимодействия

В «Лунь Юй» большое количество диалогов между учителем и учениками имеет явную интерактивность. Все русские переводы строго сохраняют дискурсивные маркеры, такие как

«спросил», «сказал», «ответил», восстанавливая реальную коммуникативную сцену.

Например, диалог «Цзы Гунь спросил: – А я (Цзы) каков? – Ты полезный сосуд, – сказал философ» в переводе П.С. Попова точно сохраняет структуру вопроса и ответа, обеспечивая полную передачу диалогичности и поддерживая исходную межличностную коммуникативную функцию текста [2].

Оценочная функция: оценочная рема + четкая позиция

Оценка ценностей является важной коммуникативной целью «Лунь Юй». В переводах широко используются оценочные слова, такие как «благородный», «низкий», «мудрый», «справедливый», что делает нравственную позицию непосредственно ощутимой. Например, высказывание «Благородный муж руководствуется справедливостью, а низкий человек – личным интересом» в переводах реализует четкое ценностное суждение через контрастные ремы, достигая ясного назидательного эффекта [3].

Уровневые преобразования в переводе «Лунь Юй»: коммуникативное дополнение между грамматикой и лексикой

Уровневые преобразования являются таким явлением, на которое обращают внимание как коммуникативная грамматика, так и теория переводческих преобразований; они подразумевают функциональное преобразование между грамматическим смыслом и лексическими средствами его выражения. В древнекитайском языке вид, время и залог часто являются скрытыми, тогда как в русском языке они должны быть явными, поэтому уровневые преобразования чрезвычайно распространены в русских переводах «Лунь Юй».

Например, высказывание «бывает, что всходы появляются, но не цветут» в переводе Л.С. Переломова оформлено так: «бывает, что всходы появятся, но не цветут». В исходном предложении отсутствуют маркеры времени и вида, а в переводе через противопоставление вида глаголов (совершенный/несовершенный) достигается явное выражение времени, процесса и результата – это позволяет превратить нечеткий смысл классического китайского языка в точную и понятную русскую информацию, соответствующую коммуникативным потребностям читателей.

Еще пример: «Лучше быть бедным, но ра-

достным, чем богатым, но не уважающим этикет» в переводе Л.С. Переломова реализовано через конструкцию «не так, как» для построения сравнительной структуры. Такой подход позволяет передать грамматическое отношение сравнения с помощью лексических средств, выполнить уровневые преобразования и сделать ценностное сравнение ясным и понятным для русскоязычной аудитории [3].

Компенсация в межкультурной коммуникации: дискурсивное разрешение культурных пробелов

«Лунь Юй» содержит большое количество этических норм, предметов, исторических аллюзий и философских концепций, которые имеют культурные пробелы в русском языке; поэтому для достижения понимания необходимо привлекать коммуникативную компенсацию.

Характерный пример – «хулянь» (ритуальный предмет храма): П.С. Попов отказался от наивного дословного перевода, а использовал пояснительный перевод: «жертвенный сосуд для хлеба в храме предков». Такой подход, заменяющий дословный перевод пояснением, полностью следует принципу коммуникативной грамматики «ориентации на понимание», позволяя культурной метафоре успешно войти в русскую коммуникативную цепочку [2].

Кроме того, в переводах широко используются подробные комментарии, дающие двуязычные (китайско-русские) объяснения к именам, географическим названиям, этическим нормам и терминам, что дополнительно повышает ценность межкультурной коммуникации и обеспечивает полную передачу смысла [4].

В рамках коммуникативной грамматики русские переводы «Лунь Юй» не ограничиваются простым преобразованием языковых единиц, а представляют собой комплексную дискурсивную практику, ориентированную на коммуникативную функцию, использующую синтаксическую реконструкцию в качестве средства и нацеленную на ее понимание читающей аудитории. В переводах через реструктуризацию темы и ремы осуществляется адаптация к русской информационной структуре, через преобразование синтаксических функций реализуются многочисленные коммуникативные намерения (назидательное, диалогическое, оценочное), через уровневые преобразования компенсируются различия между китайской и

русской грамматикой, а через пояснения и комментарии разрешаются культурные пробелы. В результате достигается общая цель: сохранение функций оригинала, естественность выражения на русском языке и плавность коммуникативного эффекта.

Как следует из проведенного анализа, русские переводы при верной передаче функционального ядра адаптируют древнекитайские синтаксические конструкции к русскому языку через реорганизацию темы и ремы, структурные и единичные преобразования. За счет экспликативного перевода, детальных комментариев и культурной интерпретации преодолеваются коммуникативные барьеры, вызванные культурными пробелами, разрешаются посредством пояснительного перевода, подробных комментариев и культурных толкований, что в итоге обеспечивает эффективную межкультурную и межкультурную трансляцию классического текста.

В целом переводы демонстрируют языковые характеристики: приоритет функции, адаптация формы, верность смысла и плавность коммуникации, что полностью подтверждает, что перевод классических текстов по своей сути представляет собой реконструктивную дискурсивную практику, ориентированную на коммуникацию, сфокусированную на аудиторию.

Анализ настоящей работы может предоставить необходимую теоретическую основу и практический путь для оценки языковых функций внешнего перевода китайских классических текстов, оптимизацию синтаксических стратегий для повышения коммуникативного эффекта.

Таким образом, в практике перевода классических текстов сложилась традиция, не ограничивающаяся формальным соответствием синтаксических конструкций. Цель переводчиков – обеспечить коммуникативную эффективность. Перевод считается полностью выполненным только тогда, когда целевая аудитория точно, плавно и полностью воспринимает идеи, ценности и дух текста. Коммуникативная грамматика помогает выйти китайским классическим текстам на мировую арену.

Описываемый, анализируемый функциональный лингвистический текст имеет важное теоретическое и практическое значение для продвижения точного перевода и эффективного распространения прекрасной традиционной китайской культуры.

Данная статья публикуется в рамках научно-исследовательского проекта основной программы на тему «Языковой анализ русских переводов «Лунь Юй» на основе коммуникативной грамматики». Номер проекта: 2018-КYYWF-1288.

Литература

1. Зограф, И.Т. Классическое конфуцианство: переводы, статьи, комментарии. Т. 2 / И.Т. Зограф, А.С. Мартынов. – СПб. : Нева, 2000. – 384 с.
2. Попов, П.С. Изречения Конфуция, учеников его и других лиц / П.С. Попов. – СПб., 1910.
3. Переломов, Л.С. Конфуций «Лунь юй». Исследование, перевод с китайского, комментарии / Л.С. Переломов. – М. : Издательство Российской академии наук, 1998.
4. Семенов, И.И. Конфуций. Я верю в древность / И.И. Семенов. – М. : Республика, 1995. – 384 с.
5. Ушаков, Д.Н. Толковый словарь современного русского языка. 100 000 слов и словосочетаний / Д.Н. Ушаков. – М. : Аделант, 2013. – 799 с. – ISBN: 978-5-93642-345-1.

References

1. Zograf, I.T. Klassicheskoe konfucianstvo: perevody, stat'i, kommentarii. T. 2 / I.T. Zograf, A.S. Martynov. – SPb. : Neva, 2000. – 384 s.
2. Popov, P.S. Izrecheniya Konfuciya, uchenikov ego i drugih lic / P.S. Popov. – SPb., 1910.
3. Perelomov, L.S. Konfucij «Lun' yuj». Issledovanie, perevod s kitajskogo, kommentarii / L.S. Perelomov. – M. : Izdatel'stvo Rossijskoj akademii nauk, 1998.
4. Semenenko, I.I. Konfucij. YA veryu v drevnost' / I.I. Semenenko. – M. : Respublika, 1995. – 384 s.
5. Ushakov, D.N. Tolkovyj slovar' sovremennogo russkogo yazyka. 100 000 slov i slovosochetanj / D.N. Ushakov. – M. : Adelant, 2013. – 799 s. – ISBN: 978-5-93642-345-1.

© Чжан Сюэлинь, Ван Цзяньли, 2026

МЕТОДЫ ПРОФИЛАКТИКИ ТРАВМ У СПОРТСМЕНОВ-ЛЮБИТЕЛЕЙ

И.И. БАИШЕВ, Г.Н. ШЕРГИН, А.Г. ГРИГОРЬЕВА

*ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
г. Якутск*

Ключевые слова и фразы: спортивный травматизм; спортсмены-любители; профилактика травм; организация тренировочного процесса; функциональная подготовка; восстановительные мероприятия.

Аннотация: Актуальность исследования обусловлена возрастающей популярностью любительского спорта и сопутствующим ростом травматизма среди данной категории занимающихся, что требует разработки эффективных превентивных мер. Цель работы – выявление и теоретическое обоснование комплекса методов профилактики травматизма у спортсменов-любителей. Материалы и методы: проведен анализ научно-методической литературы, систематизированы данные по проблеме спортивного травматизма, обобщен практический опыт организации тренировочного процесса. Результаты исследования: установлено, что травматизм у спортсменов-любителей имеет полифакторную природу, включающую организационные, методические и индивидуально-личностные детерминанты. Выявлены основные направления профилактики: рациональное построение тренировочных занятий, функциональная подготовка опорно-двигательного аппарата, восстановительные мероприятия и медицинский контроль. Заключение: эффективная профилактика травматизма у спортсменов-любителей возможна только при комплексном применении организационно-педагогических, медико-биологических и психологических мер, адаптированных к уровню подготовленности занимающихся.

В современном обществе наблюдается устойчивая тенденция к повышению двигательной активности населения, что выражается в росте числа лиц, систематически занимающихся физической культурой и спортом на любительской основе. Спортивная травма представляет собой повреждение тканей и органов, возникающее в процессе выполнения физических упражнений вследствие воздействия внешних или внутренних факторов, превышающих адаптационные возможности организма. По данным ряда исследователей, уровень травматизма среди любителей может достигать 30–40 % от общего числа занимающихся [3]. Проблема профилактики спортивного травматизма традиционно находится в фокусе внимания специалистов в области спортивной медицины, физиологии и теории физической культуры. В работах П.А. Катютиной и И.Н. Пушкаревой детально проанализированы организационные, методические и индивиду-

альные факторы травматизма, среди которых особо выделяются недостатки материально-технического обеспечения, неудовлетворительные санитарно-гигиенические условия, низкое качество судейства, а также недостаточная компетентность тренерско-преподавательского состава [1]. Исследования А.В. Малинина с соавторами акцентируют внимание на необходимости специальной подготовки спортсменов-любителей к безопасному выполнению двигательных действий, в частности – обучению техникам падения. Внедрение поэтапной методики формирования защитных навыков позволяет существенно снизить долю травм при падениях и в контактных ситуациях [2]. Вопросы биомеханического анализа движений в контексте изучения механизмов спортивных травм рассматриваются в работе А.Н. Беловой и соавторов, где подчеркивается значимость современных технологий для понимания патогенеза повреждений и разработки *targeted* профилак-

тических программ [3].

Несмотря на наличие значительного количества исследований по отдельным аспектам проблемы, вопросы систематизации методов профилактики травматизма применительно к спортсменам-любителям, характеризующимся гетерогенностью уровня подготовленности, возраста и мотивации, остаются недостаточно разработанными.

Цель исследования – выявить и теоретически обосновать эффективные методы профилактики спортивного травматизма у спортсменов-любителей.

Теоретико-методологическую основу исследования составили фундаментальные положения теории физической культуры и спорта, концепции профилактики травматизма, а также работы отечественных и зарубежных авторов по проблеме спортивного травматизма. В процессе работы применялись следующие методы: анализ и синтез научно-методической литературы по исследуемой проблеме; сравнительно-сопоставительный анализ подходов к профилактике травматизма; обобщение практического опыта организации тренировочного процесса с лицами, занимающимися физической культурой на любительском уровне; систематизация методов профилактики спортивного травматизма.

Проведенный анализ научной литературы позволил установить, что спортивный травматизм у лиц, занимающихся физической культурой на любительском уровне, представляет собой многокомпонентный феномен, детерминированный совокупностью факторов различной природы. На основе систематизации работ отечественных исследователей [1; 2; 4] нами выделены следующие группы причин травматизма.

1. Организационные факторы: недостатки материально-технического обеспечения тренировочного процесса; несоответствие мест занятий санитарно-гигиеническим требованиям; нерациональное расписание тренировок; отсутствие квалифицированного педагогического сопровождения.

2. Методические факторы: нарушение дидактических принципов постепенности, доступности и индивидуализации нагрузок; форсированная подготовка без учета функциональных возможностей организма; использование сложнокоординационных упражнений без предварительной технической подготовки; недостаточный врачебно-педагогический контроль.

3. Индивидуально-личностные факторы: низкий уровень функциональной подготовленности; наличие хронических заболеваний и дисбаланса мышечного развития; неадекватная самооценка физических возможностей; игнорирование субъективных признаков утомления и перетренированности.

Выявленная структура причин травматизма обуславливает необходимость применения комплекса профилактических мер, систематизированных по основным направлениям превентивной работы.

Организация тренировочного процесса. Фундаментальным условием профилактики травматизма выступает строгое соблюдение структуры тренировочного занятия, включающего три обязательных компонента: подготовительный (разминка), основной и заключительный (заминка). Как отмечает А.А. Кузнецов, подготовительная часть тренировки должна обеспечивать постепенное повышение функциональной активности организма, включая активизацию кардиореспираторной системы, повышение температуры мышц и подготовку нервно-мышечного аппарата к предстоящей работе [6].

Эффективная разминка продолжительностью 15–25 минут должна включать: легкое кардио (5–10 минут) для повышения общей гемодинамики; динамические упражнения на основные мышечные группы; специальные подготовительные упражнения, имитирующие элементы основной деятельности; активизацию вестибулярного аппарата и проприоцептивной чувствительности.

Основная часть тренировки должна строиться с соблюдением принципов последовательности и постепенности повышения нагрузки.

Заключительная часть (10–15 минут) направлена на оптимизацию восстановительных процессов и включает низкоинтенсивную аэробную работу и стретчинг, что способствует снижению мышечного напряжения и ускорению элиминации метаболитов.

Важнейшим направлением превентивной работы выступает целенаправленная функциональная подготовка, обеспечивающая создание мышечного корсета, развитие стабилизаторов позвоночника и суставов, формирование координационных способностей. И.Р. Кирягин и П.М. Гусев подчеркивают, что укрепление мышц-стабилизаторов способствует снижению риска растяжений и вывихов на 25–30 % [4].

Применительно к различным видам спортивной деятельности целесообразно включать в подготовку спортсменов-любителей следующие компоненты.

1. Развитие мышечного баланса – устранение функциональных мышечных дисбалансов, возникающих вследствие особенностей спортивной специализации или образа жизни.

2. Проприоцептивная тренировка – развитие глубокой чувствительности, обеспечивающей контроль положения тела в пространстве и своевременную коррекцию движений.

3. Развитие межмышечной координации – совершенствование взаимодействия мышц-синергистов и антагонистов в процессе выполнения целостных двигательных действий.

Особого внимания заслуживает обучение спортсменов-любителей технике безопасных падений. Как показывают исследования А.В. Малинина с соавторами, внедрение поэтапной методики формирования защитных навыков при падениях позволяет снизить травматизм в контактных видах спорта и при потере равновесия на 40–45 % [2].

Восстановительные мероприятия и медицинский контроль. Важную роль в системе профилактики спортивного травматизма играют восстановительные мероприятия, направленные на оптимизацию процессов регенерации и предупреждение накопления утомления. Игнорирование восстановительного компонента тренировочного процесса приводит к развитию хронических перегрузочных травм [4].

В структуру восстановительных мероприятий целесообразно включать: активное восстановление (низкоинтенсивная аэробная работа в дни отдыха); стретчинг и миофасциальный релиз (самомассаж с использованием роллов и массажных валиков); гидропроцедуры (контрастный душ, плавание); соблюдение режима сна и питания, обеспечивающего достаточное поступление белка и микронутриентов.

Медицинский контроль выступает необходимым условием профилактики травматизма, особенно на начальных этапах занятий. Первичное медицинское обследование позволяет выявить противопоказания, определить ограничения и сформировать индивидуальную программу тренировок.

На основе проведенного анализа теоретических источников и обобщения практического опыта нами разработана комплексная модель профилактики травматизма у спортсменов-лю-

бителей, включающая четыре взаимосвязанных блока.

1. Организационно-педагогический блок: рациональное планирование тренировочных нагрузок с соблюдением принципов постепенности и циклично; обеспечение соответствия мест занятий санитарно-гигиеническим требованиям; использование качественного инвентаря и экипировки; наличие квалифицированного руководства тренировочным процессом.

2. Медико-биологический блок: предварительное и периодическое медицинское обследование; функциональная диагностика; оценка текущего состояния и коррекция нагрузок; организация восстановительных мероприятий; нутритивная поддержка.

3. Техничко-тактический блок: обучение рациональной технике выполнения упражнений; формирование навыков безопасных падений и страховки; развитие координационных способностей; проприоцептивная тренировка.

4. Психологический блок: формирование адекватной самооценки физических возможностей; обучение навыкам самоконтроля и оценки субъективных ощущений; развитие мотивации к безопасному выполнению упражнений; психологическая подготовка к преодолению трудностей.

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие *выводы*.

1. Травматизм у спортсменов-любителей носит полифакторный характер и обусловлен сочетанием организационных, методических и индивидуально-личностных причин, среди которых доминируют нарушение принципов тренировки, недостаточная техническая подготовка и отсутствие систематического врачебного контроля.

2. Эффективная профилактика травматизма требует комплексного подхода, включающего рациональную организацию тренировочного процесса с обязательным соблюдением структуры занятия (разминка, основная часть, заминка), целенаправленную функциональную подготовку, систему восстановительных мероприятий и регулярный медицинский контроль.

3. Особое значение для спортсменов-любителей приобретает функциональная подготовка, направленная на устранение мышечного дисбаланса, развитие проприоцептивной чувствительности и обучение технике безопасных падений, что позволяет снизить риск травм на 25–45 %.

4. Разработанная комплексная модель профилактики травматизма, включающая организационно-педагогический, медико-биологический, технико-тактический и психологический блоки, может служить основой для построения безопасного тренировочного процесса с различными категориями спортсменов-любителей.

Перспективы дальнейших исследований связаны с эмпирической проверкой эффективности предложенной модели в различных видах любительского спорта, а также с разработкой дифференцированных программ профилактики травматизма для лиц разного возраста и уровня подготовленности.

Литература

1. Катютина, П.А. Проблема травматичности спорта / П.А. Катютина, И.Н. Пушкарёва // Актуальные проблемы науки и образования : материалы Международного форума, посвященного 300-летию Российской академии наук, Екатеринбург, 12–13 декабря 2022 года. Т. 2. – Екатеринбург : Уральский государственный педагогический университет, 2023. – С. 40–45. – EDN: ZVTRMX.
2. Малинин, А.В. Профилактика травматизма и пошаговая методика обучения безопасным падениям на примере падения вперед / А.В. Малинин, Е.Г. Шиманович, Г.В. Сущенко // Студенческий спорт в современном мире : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 26–27 мая 2023 года. – СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2023. – С. 53–57.
3. Белова, А.Н. Возможности современных технологий биомеханического анализа движений в изучении механизмов спортивных травм (обзор) / А.Н. Белова, Н.Н. Рукина, А.Н. Кузнецов, О.В. Воробьева // Российский журнал биомеханики. – 2022. – Т. 26. – № 2. – С. 74–86. – DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2022.2.07. – EDN: XMNIOK.
4. Кирягин, И.Р. Спортивные травмы: профилактика и лечение / И.Р. Кирягин, П.М. Гусев // Всероссийский педагогический форум – 2024 : сборник статей V Всероссийской методико-практической конференции, Петрозаводск, 24 декабря 2024 года. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2024. – С. 172–176. – EDN: BADXXQ.
5. Бондаренко, М.П. Спортивный фактор травматизма в профессиональном спорте // М.П. Бондаренко, А.И. Шамардин, А.А. Шамардин, Ю.А. Зубарев, И.Н. Солопов // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 7. – С. 59–61. – EDN: UACBJH.
6. Денисов, Р.Р. Оценка восстановительных мероприятий туристов (горный туризм) / Р.Р. Денисов, Г.Н. Шергин, В.Г. Старостин // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2024. – № 12-2(165). – С. 97–101. – EDN: AQAPWI.

References

1. Katyutina, P.A. Problema travmatichnosti sporta / P.A. Katyutina, I.N. Pushkareva // Aktual'nye problemy nauki i obrazovaniya : materialy Mezhdunarodnogo foruma, posvyashchennogo 300-letiyu Rossijskoj akademii nauk, Ekaterinburg, 12–13 dekabrya 2022 goda. T. 2. – Ekaterinburg : Ural'skij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet, 2023. – S. 40–45. – EDN: ZVTRMX.
2. Malinin, A.V. Profilaktika travmatizma i poshagovaya metodika obucheniya bezopasnym padeniyam na primere padeniya vpered / A.V. Malinin, E.G. Shimanovich, G.V. Sushchenko // Studencheskij sport v sovremennom mire : sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Sankt-Peterburg, 26–27 maya 2023 goda. – SPb. : Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij universitet Petra Velikogo, 2023. – S. 53–57.
3. Belova, A.N. Vozmozhnosti sovremennyh tekhnologij biomekhanicheskogo analiza dvizhenij v izuchenii mekhanizmov sportivnyh travm (obzor) / A.N. Belova, N.N. Rukina, A.N. Kuznecov, O.V. Vorob'eva // Rossijskij zhurnal biomekhaniki. – 2022. – T. 26. – № 2. – S. 74–86. – DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2022.2.07. – EDN: XMNIOK.
4. Kiryagin, I.R. Sportivnye travmy: profilaktika i lechenie / I.R. Kiryagin, P.M. Gusev // Vserossijskij pedagogicheskij forum – 2024 : sbornik statej V Vserossijskoj metodiko-prakticheskoy

konferencii, Petrozavodsk, 24 dekabrya 2024 goda. – Petrozavodsk : Mezhdunarodnyj centr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka» (IP Ivanovskaya I.I.), 2024. – S. 172–176. – EDN: BADXXQ.

5. Bondarenko, M.P. Sportivnyj faktor travmatizma v professional'nom sporte // M.P. Bondarenko, A.I. SHamardin, A.A. SHamardin, YU.A. Zubarev, I.N. Solopov // Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. – 2015. – № 7. – S. 59–61. – EDN: UACBJH.

6. Denisov, R.R. Ocenka vosstanovitel'nyh meropriyatij turistov (gornyj turizm) / R.R. Denisov, G.N. SHergin, V.G. Starostin // Global'nyj nauchnyj potencial. – SPb. : NTF RIM. – 2024. – № 12-2(165). – S. 97–101. – EDN: AQAPWI.

© И.И. Баишев, Г.Н. Шергин, А.Г. Григорьева, 2026

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗИ СЕМЕЙНЫХ КОНЦЕПЦИЙ И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА КУРСАНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МВД РОССИИ

В.Н. БАТИЩЕВ, В.А. КОЧНЕВ, Ю.М. ОХОТНИКОВ, Р.В. ЧАЙНИКОВА

*ФГКОУ ВО «Московский ордена Почета университет
Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.Я. Кикотя»,
г. Москва*

Ключевые слова и фразы: позитивный психодинамический подход; психологическая модель; семейные концепции; эмоциональный интеллект.

Аннотация: В статье представлены результаты эмпирического исследования, цель которого заключалась в разработке посредством логико-математического моделирования, основанного на применении факторного анализа, психологических моделей взаимосвязи семейных концепций и эмоционального интеллекта (ЭИ) курсантов образовательного учреждения МВД России, имеющих низкий и адекватно сформированный уровень ЭИ, в рамках позитивного психодинамического подхода. Задачи: с помощью факторного анализа рассчитать математические модели взаимосвязи семейных концепций и структурных компонентов ЭИ курсантов с низким и адекватно сформированным уровнем ЭИ; осуществить анализ разработанных математических моделей и сделать выводы. Гипотезы: 1) предполагается, что существуют взаимосвязи между семейными концепциями и структурными элементами ЭИ курсантов, на основании которых можно логически предположить обуславливание развития структурных компонентов ЭИ семейными концепциями; 2) существуют особенности взаимосвязей семейных концепций и структурных компонентов ЭИ курсантов с низким и адекватно сформированным уровнем ЭИ, выражающиеся в том, что гармоничные семейные концепции, демонстрируемые родителями (или лицами их заменяющими) в родительской семье и интериоризированные как система отношений к себе, окружающим людям, социальным и духовным ценностям в структуры сознания ребенка, способствуют формированию более высокого уровня ЭИ, тогда как дисгармоничные семейные концепции, интериоризированные в структуры сознания ребенка, затрудняют развитие ЭИ; 3) предполагается, что качественный анализ (в рамках метода логико-математического моделирования) модели для выборки курсантов с низким уровнем ЭИ позволяет определить психокоррекционные мишени с целью концептуализации мероприятий психологической помощи по развитию ЭИ у данной группы курсантов. Методы исследования включают: теоретическое и логико-математическое моделирование, методы математической статистики (кластерный анализ; факторный анализ; *U*-критерий Манна – Уитни), сравнительный анализ, обобщение. Достигнутые результаты: с помощью кластерного анализа осуществлено разделение курсантов на кластеры (группы) по уровню выраженности ЭИ; с помощью *U*-критерия Манна – Уитни в изучаемых группах курсантов выявлены значимые различия в межличностном и внутриличностном аспектах ЭИ и семейных концепциях; с помощью факторного анализа разработаны психологические (логико-математические) модели взаимосвязей семейных концепций и ЭИ у курсантов с низким уровнем ЭИ и адекватно сформированным ЭИ; гипотетически определены психокоррекционные мишени в рамках концептуализации мероприятий психологической помощи курсантам с низким уровнем ЭИ, обусловленным гипотетически семейными концепциями.

Список аббревиатур, используемых в тексте

ВЛКЭИ – внутриличностный компонент эмоционального интеллекта.

ВЛПСЭ – внутриличностный аспект эмоционального интеллекта, понимание своих эмоций.

ВЛУСЭ – внутриличностный аспект эмоционального интеллекта, управление своими эмоциями.

ВЛКЭ – внутриличностный аспект эмоционального интеллекта, контроль экспрессии.

ИПМЭИ – интегральный показатель межличностного аспекта эмоционального интеллекта.

ИППЭ – интегральный показатель способности понимать свои и чужие эмоции.

ИПУЭ – интегральный показатель способности управлять своими и чужими эмоциями.

МЛКЭИ – межличностный компонент эмоционального интеллекта.

МЛПЧЭ – межличностный аспект эмоционального интеллекта, понимание чужих эмоций.

МЛУЧЭ – межличностный аспект эмоционального интеллекта, управление чужими эмоциями.

МПО – морально-психологическое обеспечение.

МПЯО – модель для подражания «Я – Отец».

МПЯМ – модель для подражания «Я – Мать».

МПТЫ – модель для подражания «Ты».

МППРАМЫ – модель для подражания «Пра – Мы».

МРТлОщ – модель реакций в стрессовых ситуациях в сфере «тело/ощущения».

МРДтл – модель реакций в стрессовых ситуациях в сфере «деятельность».

МРКнт – модель реакций в стрессовых ситуациях в сфере «контакты».

МРСмл – модель реакций в стрессовых ситуациях в сфере «смысл».

ЭИ – эмоциональный интеллект.

Введение

Данная статья выполнена в рамках научно-исследовательских проектов, реализуемых двумя научными школами кафедры психологии учебно-научного комплекса психологии служебной деятельности Московского орде-

на Почета университета МВД России имени В.Я. Кикотя: «Психологическое обеспечение надежности специалиста силовых структур»; «Психологическое обеспечение эффективности профессиональной деятельности».

Формирование ЭИ у сотрудников полиции как системы способностей, умений и навыков понимать собственные эмоции и управлять ими, а также своевременно и грамотно распознавать эмоции, намерения и мотивацию других людей (в первую очередь правонарушителей) с целью эффективного решения служебных задач в повседневных и особых условиях (в частности в условиях проведения специальной военной операции, активное участие в которой принимают сотрудники органов внутренних дел), является одним из приоритетных направлений МПО деятельности образовательных учреждений МВД России.

Необходимость реализации данного приоритетного направления (в рамках осуществления мероприятий психологической подготовки действующих сотрудников и курсантов учебных заведений) регламентируется Приказом МВД России от 2024 г. № 500 «Об утверждении Наставления по организации морально-психологического обеспечения деятельности органов внутренних дел Российской Федерации» [5].

Современные исследования проблемы ЭИ курсантов образовательных учреждений силовых структур (в частности образовательных учреждений МВД России), детерминант его развития у курсантов в рамках системы МПО образовательной деятельности представлены в работах: С.В. Щербакова (2015) [19] (исследовал ЭИ курсантов военных вузов как структурный компонент их психологической культуры); А.С. Осиповой (2017) [13] (изучала ЭИ как фактор личностной надежности выпускников образовательных организаций МВД России); Д.С. Лапицкой (2017) [9] (осуществляла сравнительный анализ психологических особенностей ЭИ курсантов психологического факультета образовательного учреждения ФСИН России и психологов исправительных учреждений); В.П. Шейнова, В.А. Карпиевича (2020) [17] (исследовали взаимосвязь ЭИ и виктимизации у курсантов, обучающихся в образовательном учреждении МЧС России); Т.А. Басиной (2025) [4] (исследовала особенности ЭИ курсантов образовательного учреждения ФСИН России с разным типом локуса контроля); О.Ю. Шитаковой,

А.Ю. Гуськова, А.А. Шмакова, Т.В. Сидориной (2025) [18] (исследовали развитие эмоционального интеллекта у курсантов как ресурса их будущей профессиональной успешности); Д.Н. Рыбина, А.В. Лисовской (2025) [15] (исследовали взаимосвязи ЭИ курсантов образовательного учреждения МВД России и стратегий их поведения в конфликтных ситуациях); М.В. Глебовой, А.Д. Пашуковой (2025) [6] (изучали различные аспекты ЭИ курсантов, обучающихся по психологическим специальностям в образовательном учреждении ФСИН России); А.А. Шапорева (2025) [16] (исследовал роль ассертивного поведения и ЭИ курсантов военного вуза в формировании у них лидерских способностей) и др.

Вместе с тем анализ литературы позволяет утверждать: во-первых, недостаточно полно исследованы глубинно-психологические, психологические и социально-психологические детерминанты ЭИ курсантов образовательных учреждений системы МВД России; во-вторых, в открытом доступе отсутствуют работы, посвященные изучению взаимосвязи (влияния) семейных концепций (моделей для подражания в понимании основателя позитивной психотерапии Н. Пезешкиана) на формирование ЭИ у такой категории, как курсанты образовательных учреждений МВД России.

Актуальность исследуемой темы обусловлена следующими положениями.

1. С организационной точки зрения – необходимостью совершенствования системы МПО образовательного процесса в учебных учреждениях МВД России с целью формирования у курсантов морально-психологической устойчивости, эмоциональной компетентности, что несомненно будет способствовать их успешной адаптации к учебно-воспитательному процессу, формированию профессиональной идентичности, надежности и готовности к будущей служебной деятельности.

2. С научной и методологической точек зрения: во-первых, – недостаточным количеством современных психологических исследований (с доказательной базой), посвященных изучению взаимосвязи и влияния мотивационно-психологического и воспитательного потенциала семейных концепций (в рамках терминологии позитивного психодинамического подхода – моделей для подражания) на формирование ЭИ у курсантов образовательных учреждений МВД России; во-вторых, – недо-

статочной изученностью психологических механизмов, посредством которых усвоенные в детстве гармоничные или дисгармоничные образцы поведения родителей (модели для подражания) определяют способность будущего сотрудника органов внутренних дел к пониманию и управлению эмоциями (своими и чужими).

Теоретические основы исследования

По мнению П. Сэловей [2; 3] (ввел в 1990 г. в научный оборот этот термин), ЭИ представляет собой способность человека отслеживать собственные и чужие эмоциональные проявления, дифференцировать их и использовать переработанную информацию в своей мыслительной деятельности и поведении.

Наибольшую известность в зарубежной психологии приобрели концепции ЭИ Д. Гоулмана [7] и Р. Бар-Она [2]. С точки зрения Д. Гоулмана [7], ЭИ – это совокупность качеств, позволяющих личности мотивировать себя, управлять настроением, контролировать импульсивные проявления и тем самым достигать успеха в повседневной жизни.

В отечественной психологии проблема ЭИ отражена в работах И.Н. Андреевой [1; 2; 3], Д.В. Люсина [10; 11], М.А. Манойловой [12] и др. И.Н. Андреева [3] рассматривает ЭИ как совокупность ментальных способностей, которые включают в себя такие способности, как способность к осознанной регуляции эмоций; способность понимать (осмысливать) эмоции; способность ассимилировать эмоции в мышление; способность различать и выражать эмоции.

Д.В. Люсин [10; 11], чья концепция ЭИ и психодиагностический инструментарий использованы в нашем исследовании, рассматривает ЭИ как систему способностей, структурно включающую два основных компонента: межличностный (МЛКЭИ) и внутриличностный (ВЛКЭИ). Эти компоненты функционируют посредством реализации индивидом следующих способностей: понимание эмоций (своих – ВЛКЭИ; чужих – МЛКЭИ); управление эмоциями (своими – ВЛКЭИ; чужими – МЛКЭИ); контроль экспрессии (ВЛКЭИ).

С точки зрения М.А. Манойловой [12], ЭИ понимается как способность человека к осознанию, принятию и регуляции эмоциональных состояний и чувств себя самого и других людей.

По мнению основателя метода позитивной психодинамической психотерапии Н. Пезешки-

ана [14], семейные концепции (модели для подражания, модели для формирования идентичности) следует понимать как неосознаваемые паттерны поведения, усвоенные индивидом в детстве в рамках «копирования» поведения значимых взрослых, которые формируются под влиянием четырех ключевых сфер – систем отношений («значимый взрослый – ребенок»; «мать – отец»; «значимые взрослые – представители ближайшего окружения»; «значимые взрослые – система социальных и духовных ценностей»).

Н. Пезешкиан [14] и его последователи выделяют четыре взаимосвязанные семейные концепции («Я»; «Ты»; «Мы»; «Пра – Мы»), каждая из которых является для ребенка моделью для подражания и отражает определенный аспект отношений, интериоризированных им в рамках системы воспитания в родительской семье. Рассмотрим последовательно каждую из четырех семейных концепций [14].

Концепция «Я» формируется на основе отношения к ребенку его родителей (или лиц, их замещающих) и включает два ключевых компонента (модели): отношение матери («Я – Мать») и отношение отца («Я – Отец»). Через эти отношения у ребенка складывается первичное представление о собственной ценности, значимости, способностях и личностных качествах. Такие проявления родителей по отношению к ребенку, как принятие, любовь и уважение способствуют формированию у него позитивной «Я-концепции», характеризующейся базовым доверием к миру и самому себе. В контексте ЭИ это закладывает основы для понимания собственных эмоций и адекватной самооценки.

Концепция «Ты» отражает модель партнерских отношений, которую ребенок наблюдает в отношениях между родителями. Характер отношений матери и отца в рамках данной модели (проявляют ли они терпение, уважение, поддержку или, напротив, конфликтуют, игнорируют потребности друг друга) становится для ребенка эталоном будущих отношений с партнером. Эта концепция формирует базовые установки на доверие/недоверие, открытость/закрытость в межличностных связях и напрямую влияет на развитие способности понимать чувства и эмоции другого человека и управлять ими в диаде.

Концепция «Мы» определяется тем, как родители (значимые взрослые) выстраивают

отношения с более широким социальным окружением: со своими родителями (бабушками и дедушками ребенка), с соседями, друзьями, коллегами по работе. Эта концепция формирует стиль взаимодействия ребенка с социальными группами. Проявляемые родителями такие качества, как открытость, дружелюбие, способность к кооперации, способствуют развитию у ребенка эмпатии, коммуникативных навыков, способности к сотрудничеству. Напротив, закрытость, конфликтность, изоляция (уход от общения) могут привести к трудностям в понимании эмоциональных состояний членов коллектива и построении гармоничных отношений в социуме.

Концепция «Пра – Мы» способствует формированию мировоззренческой основы и системы ценностных координат личности, определяет смысложизненные ориентиры формирующейся личности. Данная концепция отражает отношение значимых взрослых к экзистенциальным аспектам, таким как смысл жизни; религия; духовные и нравственные ценности; справедливость; будущее и др. Влияние концепции «Пра – Мы» на формирование ЭИ проявляется в способности придавать смысл своим переживаниям, регулировать эмоциональные состояния, опираясь на высшие ценности, и сохранять надежду в сложных жизненных ситуациях.

Одним из важных проявлений ЭИ выступают эмоциональные и поведенческие реакции человека в стрессовых (конфликтных, кризисных) ситуациях. По мнению Н. Пезешкиана [14], любой индивид в стрессовых (конфликтных, кризисных) ситуациях реализует в той или иной степени модели реакций в 4 основных областях жизни и деятельности: модель реакций в сфере «тело/ощущения» – психосоматические реакции, обусловленные стрессом; модель реакций в сфере «деятельность» – автоматические мысли, вербальная и физическая деятельность, обусловленные стрессом; модель реакций в сфере «контакты» – эмоции и чувства, обусловленные стрессом; модель реакций в сфере «смысл» – понимание, осознание смысла, роли стрессовой ситуации.

Методы исследования

В рамках психодиагностического обследования респондентов применялись:

- 1) дифференциально-аналитический

опросник (*WIPPF*; Н. Пезешкиан, А. Ремерс) [14], с помощью которого изучались: семейные концепции (модели для подражания); относящиеся к компонентам ЭИ модели реакций в стрессовых ситуациях, возникающих в 4-х основных сферах личности: «телесной», «деятельности» (умственной и физической), «контактов» (эмоционально-чувственной), «экзистенциальной»;

2) тест эмоционального интеллекта (ЭМИн; Д.В. Люсин) [10], с помощью которого изучались внутриличностный и межличностный аспекты ЭИ респондентов.

Методы математической статистики представлены кластерным и факторным видами математического анализа, *U*-критерием различия Манна – Уитни. Обработка результатов исследования производилась в статистических пакетах *Excel XP* и *SPSS-21*, выбранный уровень значимости при расчетах – $p \leq 0,05$.

В исследовании приняли участие курсанты женского пола 2, 3, 4 курсов Института психологии служебной деятельности Московского ордена Почета университета МВД имени В.Я. Кикотя ($n = 185$).

Результаты и их обсуждение

С помощью кластерного анализа по уровню развития ЭИ все респонденты были разделены на три группы по уровню развития у них ЭИ: низкий ($n = 115$); адекватно сформированный ($n = 65$); высокий ($n = 5$). Поскольку выборка курсантов с высоким уровнем ЭИ оказалась малочисленной (всего 5 человек), для эмпирического исследования были отобраны группы курсантов с низким ($n = 115$) и адекватно сформированным уровнем ($n = 65$) ЭИ.

Посредством *U*-критерия Манна – Уитни установлено:

1) у курсантов с адекватно сформированным уровнем ЭИ все параметры внутриличностного и межличностного аспектов ЭИ значимо лучше развиты, чем у курсантов с низким уровнем ЭИ ($p \leq 0,001$);

2) несмотря на более адекватные реакции курсантов с адекватно сформированным уровнем ЭИ в стрессовых (кризисных/экстремальных) ситуациях, нет значимых различий в группах респондентов в реализации моделей реакций в (кризисных/экстремальных) ситуациях;

3) несмотря на более адаптивные моде-

ли для подражания, свойственные для курсантов с адекватно сформированным уровнем ЭИ, значимые различия в группах респондентов установлены только по модели для подражания «Мы» (МПМЫ, $p \leq 0,003$).

Логико-математические модели взаимосвязей семейных концепций и ЭИ получены посредством факторного анализа с выполнением следующих условий [8]: метод анализа – метод «Главных компонент»; способ вращения – «Варимакс» с нормализацией Кайзера. Показатели выборок: 1) для выборки курсантов с низким уровнем ЭИ: мера выборочной адекватности Кайзера – Мейера – Олкина (КМО) имеет значение 0,763; критерий сферичности Барлетта имеет достоверность $p \leq 0,000$; кумулятивный процент дисперсии рассчитанных факторов составляет более 81 %; 2) для выборки курсантов с адекватно сформированным уровнем ЭИ: мера выборочной адекватности Кайзера – Мейера – Олкина (КМО) имеет значение 0,678; критерий сферичности Барлетта имеет достоверность $p \leq 0,000$; кумулятивный процент дисперсии рассчитанных факторов составляет более 84 %. Для обеих выборок критерии КМО и критерии сферичности Барлетта показывают, что данные имеют достаточный уровень для проведения факторного анализа. Значения кумулятивного процента дисперсий в исследуемых выборках свидетельствуют о высоком уровне соответствия теоретических причинно-следственных гипотез полученным эмпирическим результатам [8].

Психологическая модель взаимосвязи семейных концепций и компонентов ЭИ у курсантов с адекватно сформированным ЭИ

Состав модели. Модель включает 5 факторов: в данной и второй модели название факторов определялось с учетом максимальных нагрузок, включенных в них переменных и логики их взаимосвязи; переменные, включенные в каждый фактор, обозначены аббревиатурами, справа от которых указаны их факторные нагрузки.

Структура и анализ модели. Фактор 1 (27,9 %) «Взаимосвязи внутриличностного аспекта ЭИ и моделей реакций в стрессе» (6 переменных: ВЛПСЭ, 0,939; ВЭИ, 0,863; МРДтл, 0,751; МРТлОщ, 0,705; ПЭ, 0,704; МРСмл, 0,641). Как видно из последовательности переменных, включенных в фактор 1, модели стрессовых реакций («поведенческие» МРДтл, 0,751; «телесные» МРТлОщ, 0,705) курсантов с адек-

ватно сформированным ЭИ обусловлены внутриличностным аспектом ЭИ и, в частности, такими способностями, как понимание эмоций в целом (ПЭ, 0,704) и интерпретация в первую очередь своих эмоций (ВЛПСЭ, 0,939). Такие механизмы взаимосвязи позволяют курсантам понимать и осмысливать причинно-следственные связи своих стрессовых реакций (МРСмл, 0,641). **Фактор 2** (19,6 %) «Система моделей для подражания» (3 переменных: МПЯМ, 0,918; МППРАМЫ, 0,739; МПМЫ, 0,692) позволяет утверждать, что в формировании ЭИ курсантов данной группы важную роль в первую очередь сыграли отношения с матерью (МПЯМ, 0,918), система семейных духовно-нравственных ценностей (МППРАМЫ, 0,739) и система гармоничных отношений родителей с близкими, родственниками, друзьями и знакомыми (МПМЫ, 0,692). **Фактор 3** (14,8 %) «Межличностного аспекта ЭИ» (3 переменных: МЭИ, 0,945; МЛПЧЭ, 0,760; МЛУЧЭ, 0,698). Обращает на себя внимание тот факт, что у курсантов данной группы компоненты межличностного аспекта ЭИ представляют интегрированную систему, структурно расположенную последовательно за компонентами внутриличностного аспекта ЭИ, размещенными в факторе 1. **Фактор 4** (9,95 %) «Способности контролировать эмоции в межличностных отношениях» (2 переменных: ВЛКЭ, 0,790; МПТЫ, 0,567). В стрессовой ситуации курсанты данной группы способны контролировать свои эмоции (ВЛКЭ, 0,790), что позволяет им сохранять спокойствие и конструктивно вести диалог со своими оппонентами. **Фактор 5** (8,7 %) «Умение управлять своими эмоциями в стрессе» (4 переменных: МРКнт, 0,821; УЭ, 0,634; МПЯО, 0,578; ВЛУСЭ, 0,554). Умение управлять энергией стресса в межличностных отношениях (МРКнт, 0,821), основанное в целом на способности управлять своими эмоциями (УЭ, 0,634), обусловлено интериоризированной в сознание моделью для подражания «Я – Отец» (моделью гармоничных отношений с отцом), что в итоге и позволяет курсантам данной группы умело управлять своими эмоциями и чувствами в стрессовых ситуациях (ВЛУСЭ, 0,554).

Психологическая модель взаимосвязи семейных концепций и компонентов ЭИ у курсантов с низким уровнем ЭИ

Состав модели. Модель включает семь факторов.

Структура и анализ модели. Фактор 1

(20,6 %) «Система моделей для подражания» (4 переменных: МПЯО, 0,906; МПТЫ, 0,897; МПМЫ, 0,747; МПЯМ, 0,706). 4 из 5-ти моделей для подражания системно интегрированы в первый фактор, оказывающий воздействие на последующие факторы и включенные в них переменные. Как видно из последовательности переменных, включенных в фактор 1, существенное влияние на формирование у курсантов ЭИ оказывают модели отношений с отцом (МПЯО, 0,906) и модель отношений отца и матери (МПТЫ, 0,897). Несколько меньшее влияние на формирование ЭИ у курсантов данной группы оказывают модели отношений родителей с близкими и друзьями (МПМЫ, 0,747) и модель отношений с матерью (МПЯМ, 0,706). **Фактор 2** (17,5 %) «Управление эмоциями» (3 переменных: УЭ, 0,977; МЛУЧЭ, 0,775; ВЛКЭ, 0,718). Для курсантов данной группы важной в целом является способность управлять эмоциями (УЭ, 0,977), в первую очередь – способность к манипуляции в стрессовых ситуациях эмоциями другого человека (но не своими эмоциями!). Респонденты данной группы больше стараются контролировать свои эмоции (ВЛКЭ, 0,718). **Фактор 3** (13,7 %) «Понимание чужих эмоций» (3 переменных: МЛПЧЭ, 0,887; МЭИ, 0,874; ПЭ, 0,606). Обращает на себя внимание тот факт, что у курсантов с низким уровнем ЭИ в целом больше развит межличностный аспект ЭИ (МЭИ, 0,874), а способность понимать эмоции (в том числе и свои; ПЭ, 0,606) следует за способностью управлять (или манипулировать) эмоциями другого человека (МЛПЧЭ, 0,887). **Фактор 4** (11,1 %) «Понимание собственных эмоций» (2 переменных: ВЛПСЭ, 0,850; ВЭИ, 0,874). Внутриличностный аспект ЭИ у данной группы курсантов менее развит (ВЭИ, 0,874) по сравнению с межличностным (который представлен в предыдущем факторе). Вместе с тем способность понимать свои эмоции (ВЛПСЭ, 0,850) также важна для курсантов данной группы. **Фактор 5** (8,7 %) «Осознавание своих эмоций и чувств в стрессе» (2 переменных: МРСмл, 0,806; МРКнт, 0,799). Для данной группы курсантов при попадании в стрессовую ситуацию характерно перерабатывать энергию стресса больше в экзистенциальной сфере (МРСмл, 0,806), чем в других (сферах «деятельности», «телесной»), с целью понимания смысла своих чувств и эмоций в данной ситуации (МРКнт, 0,799). **Фактор 6** (6,7 %) «Отрицательной взаимосвя-

зи поведенческих реакций и управления своими эмоциями» (2 переменных: МРДтл, 0,732; ВЛУСЭ, -0,638). Курсантам данной группы в стрессовой ситуации свойственно проявлять деструктивные поведенческие реакции (МРДтл, 0,732), что мешает им контролировать и управлять своими эмоциями (ВЛУСЭ, -0,638). **Фактор 7** (6,1 %) «Взаимосвязи модели системы духовно-нравственных ценностей и модели «телесных» реакций» (2 переменных: МППРАМЫ, 0,768; МРТлОщ, 0,736). При попадании курсантов с низким уровнем ЭИ в стрессовую ситуацию их психосоматические реакции (МРТлОщ, 0,736) напрямую обусловлены сильными экзистенциальными, нравственными переживаниями, тем, что принято называть «угрызения совести» (МППРАМЫ, 0,768).

Анализ представленной выше «модели» позволяет определить психокоррекционные мишени в рамках психологической работы с курсантами с низким уровнем ЭИ. В психологической работе по формированию у курсантов данной группы адекватного уровня ЭИ потенциально можно определить следующие психокоррекционные «мишени»:

1) психологическую трансформацию, гармонизацию моделей для подражания МПЯО и МПЯМ (проработку родительско-детских отношений), МПТЫ и МПМЫ (проработку деструктивных моделей межличностных отношений, межличностного взаимодействия);

2) развитие и логическую структурированность компонентов внутриличностного и межличностного аспектов ЭИ, а именно: первоначально – способности понимать и управлять своими эмоциями, вторично – способности понимать чужие эмоции с целью, по возможности, управлять ими;

3) развитие способности брать под контроль психосоматические реакции посредством выработки способности дифференцировать и четко локализовать свои ощущения эмоций.

Выводы

1. Результаты эмпирического исследования позволяют сделать вывод о том, что его цель достигнута, задачи решены. Выдвинутые гипотезы 1 и 3 доказаны. Гипотеза 2 доказана частично в связи с отсутствием значимых различий в уровне развития моделей для подражания в исследуемых группах курсантов.

2. Метод кластерного анализа позволил с

высоким уровнем достоверности разделить респондентов по уровню развития эмоционального интеллекта, что было подтверждено расчетами *U*-критерия Манна – Уитни.

3. Метод логико-математического моделирования с применением факторного анализа позволил с высоким уровнем достоверности рассчитать математические модели взаимосвязи семейных концепций и ЭИ у курсантов с низким и адекватно сформированным уровнем его развития, а также выявить структурные различия во взаимосвязях изучаемых переменных в группах респондентов.

4. Сравнительный качественный анализ разработанных психологических моделей позволяет сделать следующие выводы. У курсантов с адекватно сформированным уровнем ЭИ: формирующее влияние семейных концепций исходит преимущественно от отношений с матерью и системы духовно-нравственных ценностей; модели реакций в стрессовых ситуациях обусловлены внутриличностными аспектами ЭИ; компоненты межличностного аспекта ЭИ представляют собой интегрированную систему.

У курсантов с низким уровнем ЭИ модели для подражания образуют единый системный фактор с ведущей ролью отношений с отцом и характера взаимодействия между родителями; выражены направленность на управление эмоциями окружающих при недостаточно развитой способности регулировать собственные эмоциональные реакции и психоэмоциональные состояния и склонность к переработке энергии стресса в экзистенциальной сфере; недостаточно развитая способность управлять собственными эмоциями обуславливает деструктивные поведенческие реакции в стрессовых (кризисных, экстремальных) ситуациях; психосоматические реакции напрямую обусловлены интенсивностью экзистенциальных и нравственных переживаний, что свидетельствует о неконструктивных способах совладания с внутриличностными конфликтами.

5. Математическая модель, рассчитанная для курсантов с низким уровнем ЭИ, позволила определить в ее структуре психокоррекционные мишени в рамках концептуализации мероприятий психологической работы с курсантами данной группы по развитию у них ЭИ.

6. Полученные результаты могут быть использованы в практической деятельности психологов образовательных учреждений МВД России. Материалы исследования и, в частно-

сти, определенные в группе курсантов с низким уровнем ЭИ психокоррекционные мишени позволяют концептуализировать психоразвивающие и психокоррекционные воздействия с данной группой курсантов, такие как развитие внутриличностной рефлексии; гармонизация семейных концепций (моделей для подражания); формирование навыков управления эмоциями в стрессовых (кризисных, экстремальных) ситуациях с опорой на позитивные образцы.

7. Перспективными направлениями дальнейших исследований по изучаемой проблематике можно определить:

1) изучение динамики факторной структуры эмоционального интеллекта на разных этапах профессионального становления курсантов (действующих сотрудников);

2) разработка и осуществление сравнительного анализа логико-математических моделей эмоционального интеллекта курсантов с различной специализацией подготовки;

3) разработка и внедрение в психологическую практику с последующим исследованием эффективности теоретической модели развития эмоционального интеллекта у курсантов в методе позитивной психодинамической психотерапии.

Литература

1. Андреева, И.Н. Азбука эмоционального интеллекта / И.Н. Андреева. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 288 с. – ISBN: 978-5-9775-0795-0. – EDN: SDQUNJ.
2. Андреева, И.Н. Об истории развития понятия «эмоциональный интеллект» / И.Н. Андреева // Вопросы психологии. – 2008. – № 5. – С. 83–93. – EDN: NBEWFT.
3. Андреева, И.Н. Эмоциональный интеллект: исследования феномена / И.Н. Андреева // Вопросы психологии. – 2006. – № 3. – С. 78–86. – EDN: QCBPYB.
4. Басина, Т.А. Особенности эмоционального интеллекта курсантов с разным типом локуса контроля / Т.А. Басина // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Психология. – 2025. – Т. 52. – С. 3–14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-emotsionalnogo-intellekta-kursantov-s-raznym-tipom-lokusa-kontrolya>. – DOI: 10.26516/2304-1226.2025.52.3. – EDN: XTKRIO.
5. Приказ МВД России от 27 августа 2024 г. № 500 «Об утверждении Положения о порядке организации морально-психологического обеспечения деятельности органов внутренних дел Российской Федерации» (документ не вступил в силу) // ГАРАНТ.РУ: Информационно-правовой портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/410317459/?ysclid=mol3yv43ei543806947>.
6. Глебова, М.В. Эмоциональный интеллект курсантов ФСИН России, обучающихся по психологическим специальностям (на примере академии ФСИН России) / М.В. Глебова, А.Д. Пашукова // Векторы психолого-педагогических исследований. – 2025. – № 4(09). – С. 59–66 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/emotsionalnyy-intellekt-kursantov-fsin-rossii-obuchayuschih-sya-po-psihologicheskim-spetsialnostyam-na-primere-akademii-fsin-rossii>. – EDN: QKZAMU.
7. Гоулман, Д. Эмоциональный интеллект. Почему он может значить больше, чем IQ : 11-е изд., перераб. и доп. / Д. Гоулман; пер. с англ. А.П. Исаевой [науч. ред. Е. Ефимова]. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 544 с.
8. Ермолаев-Томин, О.Ю. Математические методы в психологии. В 2 частях. Ч. 2 : учебник для вузов; 5-е изд., испр. и доп. / О.Ю. Ермолаев-Томин. – М. : Юрайт, 2023. – 235 с.
9. Лапицкая, Д.С. Сравнительный анализ психологических особенностей ЭИ курсантов психологического факультета и психологов исправительных учреждений / Д.С. Лапицкая [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://jp.mgppu.ru/forum/index.php?PHPSESSID=pirg57vvra2jrrsdfqufca9mk4&topic=211.0;prev_next=prev#new.
10. Люсин, Д.В. Опросник ЭИИн: методика измерения эмоционального интеллекта / Д.В. Люсин // Практикум по психодиагностике. – М. : Смысл, 2004. – С. 23–27.
11. Люсин, Д.В. Современные представления об эмоциональном интеллекте / под ред. Д.В. Люсина, Д.В. Ушакова // Социальный интеллект: теория, измерение, исследования. – М. : Институт психологии РАН, 2004. – С. 29–39. – EDN: UVGYGB.

12. Манойлова, М.А. Авторская методика диагностики эмоционального интеллекта (МЭИ) / М.А. Манойлова. – Псков : ПГПИ, 2004. – С. 56–57.
13. Осипова, А.С. Эмоциональный интеллект как фактор личностной надежности сотрудников органов внутренних дел – выпускников образовательных организаций МВД России : автореф. дис. ... канд. психол. наук / А.С. Осипова. – Москва, 2017. – 24 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://search.rsl.ru/ru/record/01006658307>.
14. Пезешкиан, Н. Тренинг разрешения конфликтов. Психотерапия повседневной жизни : 2-е изд. / Н. Пезешкиан. – М. : Институт позитивной психотерапии, 2006. – 296 с.
15. Рыбин, Д.Н. Эмоциональный интеллект курсантов БЮИ МВД России в контексте стратегий поведения в конфликтных ситуациях / Д.Н. Рыбин, А.В. Лисовская // Вестник психологии и педагогики Алтайского государственного университета. – 2025. – Т. 7. – № 3. – С. 147–158 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bppsru.ru/article/view/17917>. – EDN: FYFCVP.
16. Шапорев, А.А. Ассертивное поведение и эмоциональный интеллект в формировании лидерства курсантов военного вуза / А.А. Шапорев // Гуманизация образования. – 2025. – № 1. – С. 38–45 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://assertivnoe-povedenie-i-emotsionalnyy-intellekt-v-formirovanii-liderstva-kursantov-voennogo-vuza\(1\).pdf](https://assertivnoe-povedenie-i-emotsionalnyy-intellekt-v-formirovanii-liderstva-kursantov-voennogo-vuza(1).pdf). – DOI: 10.24412/2541-8734-2025-1-38-45. – EDN: XMWLJN.
17. Шейнов, В.П. Эмоциональный интеллект и виктимизация курсантов МЧС / В.П. Шейнов, В.А. Карпиевич // Системная психология и социология. – 2020. – № 1(33). – С. 85–99 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://emotsionalnyy-intellekt-i-viktimizatsiya-kursantov-mchs.pdf>. – DOI: 10.25688/2223-6872.2020.33.1.07. – EDN: XXCOQO.
18. Шитакова, О.Ю. Развитие эмоционального интеллекта как ресурса будущей профессиональной успешности студентов и курсантов / О.Ю. Шитакова, А.Ю. Гуськов, А.А. Шмаков, Т.В. Сидорина // Профессиональное образование в современном мире. – 2025. – Т. 15(1). – С. 129–139 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : DOI: 10.20913/2618-7515-2025-1-15. – EDN: ULYXSX.
19. Щербаков, С.В. Эмоциональный интеллект как структурный компонент психологической культуры курсантов военных вузов / С.В. Щербаков // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-19. – С. 4336–4339 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37955>. – EDN: RXCDDN.

References

1. Andreeva, I.N. Azbuka emocional'nogo intellekta / I.N. Andreeva. – SPb. : BHV-Peterburg, 2012. – 288 s. – ISBN: 978-5-9775-0795-0. – EDN: SDQUNJ.
2. Andreeva, I.N. Ob istorii razvitiya ponyatiya «emocional'nyj intellekt» / I.N. Andreeva // Voprosy psihologii. – 2008. – № 5. – S. 83–93. – EDN: NBEWFT.
3. Andreeva, I.N. Emocional'nyj intellekt: issledovaniya fenomena / I.N. Andreeva // Voprosy psihologii. – 2006. – № 3. – S. 78–86. – EDN: QCBPYB.
4. Basina, T.A. Osobennosti emocional'nogo intellekta kursantov s raznym tipom lokusa kontrolya / T.A. Basina // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Psihologiya. – 2025. – Т. 52. – S. 3–14 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-emotsionalnogo-intellekta-kursantov-s-raznym-tipom-lokusa-kontrolya>. – DOI: 10.26516/2304-1226.2025.52.3. – EDN: XTKRIO.
5. Prikaz MVD Rossii ot 27 avgusta 2024 g. № 500 «Ob utverzhdenii Polozheniya o poryadke organizatsii moral'no-psihologicheskogo obespecheniya deyatelnosti organov vnutrennih del Rossijskoj Federatsii» (dokument ne vstupil v silu) // GARANT.RU: Informacionno-pravovoj portal [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/410317459/?ysclid=mol3yv43ei543806947>.
6. Glebova, M.V. Emocional'nyj intellekt kursantov FSIN Rossii, obuchayushchihsya po psihologicheskim special'nostyam (na primere akademii FSIN Rossii) / M.V. Glebova, A.D. Pashukova // Vektory psihologo-pedagogicheskikh issledovaniy. – 2025. – № 4(09). – S. 59–66 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/emotsionalnyy-intellekt>.

kursantov-fsin-rossii-obuchayuschihsya-po-psihologicheskim-spetsialnostyam-na-primere-akademii-fsin-rossii. – EDN: QKZAMU.

7. Goulman, D. Emocional'nyj intellekt. Pochemu on mozhet znachit' bol'she, chem IQ : 11-e izd., pererab. i dop. / D. Goulman; per. s angl. A.P. Isaevoy [nauch. red. E. Efimova]. – M. : Mann, Ivanov i Ferber, 2021. – 544 s.

8. Ermolaev-Tomin, O.YU. Matematicheskie metody v psihologii. V 2 chastyah. CH. 2 : uchebnik dlya vuzov; 5-e izd., ispr. i dop. / O.YU. Ermolaev-Tomin. – M. : YUrajt, 2023. – 235 s.

9. Lapickaya, D.S. Sravnitel'nyj analiz psihologicheskikh osobennostej EI kursantov psihologicheskogo fakul'teta i psihologov ispravitel'nyh uchrezhdenij / D.S. Lapickaya [Electronic resource]. – Access mode : http://jp.mgppu.ru/forum/index.php?PHPSESSID=pirg57vvra2jrsdfqufca9mk4&topic=211.0;prev_next=prev#new.

10. Lyusin, D.V. Oprosnik EmIn: metodika izmereniya emocional'nogo intellekta / D.V. Lyusin // Praktikum po psihodiagnostike. – M. : Smysl, 2004. – S. 23–27.

11. Lyusin, D.V. Sovremennye predstavleniya ob emocional'nom intellekte / pod red. D.V. Lyusina, D.V. Ushakova // Social'nyj intellekt: teoriya, izmerenie, issledovaniya. – M. : Institut psihologii RAN, 2004. – S. 29–39. – EDN: UVGYGB.

12. Manojlova, M.A. Avtorskaya metodika diagnostiki emocional'nogo intellekta (MEI) / M.A. Manojlova. – Pskov : PGPI, 2004. – S. 56–57.

13. Osipova, A.S. Emocional'nyj intellekt kak faktor lichnostnoj nadezhnosti sotrudnikov organov vnutrennih del – vypusnikov obrazovatel'nyh organizacij MVD Rossii : avtoref. dis. ... kand. psihol. nauk / A.S. Osipova. – Moskva, 2017. – 24 s. [Electronic resource]. – Access mode : <https://search.rsl.ru/ru/record/01006658307>.

14. Pezeshkian, N. Trening razresheniya konfliktov. Psihoterapiya povsednevnoj zhizni : 2-e izd. / N. Pezeshkian. – M. : Institut pozitivnoj psihoterapii, 2006. – 296 s.

15. Rybin, D.N. Emocional'nyj intellekt kursantov BYUI MVD Rossii v kontekste strategij povedeniya v konfliktnykh situatsiyah / D.N. Rybin, A.V. Lisovskaya // Vestnik psihologii i pedagogiki Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2025. – T. 7. – № 3. – S. 147–158 [Electronic resource]. – Access mode : <https://bppasu.ru/article/view/17917>. – EDN: FYFCVP.

16. SHaporev, A.A. Assertivnoe povedenie i emocional'nyj intellekt v formirovanii liderstva kursantov voennogo vuza / A.A. SHaporev // Gumanizatsiya obrazovaniya. – 2025. – № 1. – S. 38–45 [Electronic resource]. – Access mode : [https://assertivnoe-povedenie-i-emotsionalnyy-intellekt-v-formirovanii-liderstva-kursantov-voennogo-vuza\(1\).pdf](https://assertivnoe-povedenie-i-emotsionalnyy-intellekt-v-formirovanii-liderstva-kursantov-voennogo-vuza(1).pdf). – DOI: 10.24412/2541-8734-2025-1-38-45. – EDN: XMWLJN.

17. SHEjnov, V.P. Emocional'nyj intellekt i viktimizatsiya kursantov MCHS / V.P. SHEjnov, V.A. Karpievich // Sistemnaya psihologiya i sociologiya. – 2020. – № 1(33). – S. 85–99 [Electronic resource]. – Access mode : <https://emotsionalnyy-intellekt-i-viktimizatsiya-kursantov-mchs.pdf>. – DOI: 10.25688/2223-6872.2020.33.1.07. – EDN: XXCOQO.

18. SHitakova, O.YU. Razvitie emocional'nogo intellekta kak resursa budushchej professional'noj uspehnosti studentov i kursantov / O.YU. SHitakova, A.YU. Gus'kov, A.A. SHmakov, T.V. Sidorina // Professional'noe obrazovanie v sovremennom mire. – 2025. – T. 15(1). – S. 129–139 [Electronic resource]. – Access mode : DOI: 10.20913/2618-7515-2025-1-15. – EDN: ULYXSX.

19. SHCHerbakov, S.V. Emocional'nyj intellekt kak strukturnyj komponent psihologicheskoy kul'tury kursantov voennykh vuzov / S.V. SHCHerbakov // Fundamental'nye issledovaniya. – 2015. – № 2-19. – S. 4336–4339 [Electronic resource]. – Access mode : <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37955>. – EDN: RXCDDN.

© В.Н. Батищев, В.А. Кочнев, Ю.М. Охотников, Р.В. Чайникова, 2026

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГОВ НА ОСНОВЕ АНДРАГОГИЧЕСКОЙ ФАСИЛИТАЦИИ

Е.А. ДНЕПРОВА, В.П. СМОРЧКОВА

ФГБОУ ВО «Государственный университет просвещения»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: каскадно-кластерная модель; повышение квалификации; фасилитация; мотивация достижения; мотивация избегания неудач; личностный смысл инновации; внутрифирменное повышение квалификации.

Аннотация: Цель исследования – разработать и экспериментально апробировать каскадно-кластерную модель как основание повышения квалификации педагогических и управленческих кадров, построенную на принципах андрагогической фасилитации.

Задачи: выявить исходный уровень готовности педагогов и руководителей к внедрению инновации, включая диагностику доминирующей мотивации; разработать каскадно-кластерную модель (три уровня: основной, технологический, организационно-деятельностный) с механизмом фасилитирующего сопровождения; апробировать модель в ходе эксперимента; определить условия устойчивой трансформации мотивации.

Гипотеза: эффективное внедрение инноваций (на примере ФГОС) возможно при условии построения каскадно-кластерной модели андрагогической фасилитации, при которой курсовая подготовка сочетается с внутрифирменным повышением квалификации, обеспечивается трансформация мотивации избегания неудач в мотивацию достижения успеха через формирование личностного смысла, создание ситуаций успеха, погружение в творческую деятельность, сопровождение фасилитатором педагогов на всех этапах его деятельности.

Методы: теоретический анализ, моделирование, педагогический эксперимент (констатирующий, поисковый, формирующий этапы), анкетирование ($n = 400$), тестирование (модифицированная методика А. Мехрабиана), проективный тест «Смысл ФГОС», тест «неоконченных предложений» ($n = 120$), статистический анализ.

Результаты: на констатирующем этапе у 87 % педагогов выявлена мотивация избегания неудач, только 3 % обладали достаточными знаниями для внедрения ФГОС как системной инновации, 42 % выступали против нововведения. После формирующего этапа доля педагогов с достаточными знаниями выросла до 68 %, доля противников инновации снизилась до 17,6 %; у руководителей высокий уровень готовности увеличился с 6 % до 87 %. У 97 % слушателей сформировано ценностное отношение к государственному заказу, у 67 % – личностный смысл инновационной деятельности. Гипотеза подтверждена.

Современная государственная образовательная политика России, зафиксированная в Федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС) и стратегических документах, разработках ученых ориентирует систему повышения квалификации на формирование у педагогов готовности к инновационной деятельности, ценностному отношению к образованию, эффективной подготовке специали-

стов и пр. [2; 6].

Однако многолетняя практика показывает, что традиционные курсы, построенные по лекционно-семинарской модели, не обеспечивают устойчивого принятия инноваций педагогическим коллективом. Причина – в доминировании у большинства учителей мотивации избегания неудач при отсутствии личностного смысла осваиваемых новшеств.

Особую остроту проблема приобретает в крупных образовательных комплексах, объединяющих несколько школ и детских садов. Эффективность работы такого комплекса требует единой образовательной стратегии и организационной культуры, что невозможно без целенаправленной подготовки школьных команд к согласованному введению инноваций.

Возникают противоречия между необходимостью одновременного обучения большого числа сотрудников и невозможностью их отрыва от работы; между потребностью в подготовленных кадрах для реализации инноваций и отсутствием подготовленных специалистов по внутрифирменному повышению квалификации (ПК). Разрешение этих противоречий требует перехода от традиционной модели повышения квалификации к андрагогической фасилитации – процессу, в котором преподаватель-фасилитатор создает условия для саморазвития взрослого обучающегося, актуализации его профессионального опыта и нахождения личностного смысла в инновациях.

Цель исследования – разработать и экспериментально апробировать каскадно-кластерную модель как основание повышения квалификации работников образования, построенную на принципах андрагогической фасилитации, обеспечивающую трансформацию мотивации избегания неудач в мотивацию достижения успеха и формирование личностного смысла инновационной деятельности при внедрении инноваций (на примере ФГОС).

Задачи: выявить исходный уровень готовности педагогов и руководителей к внедрению ФГОС, включая диагностику доминирующей мотивации трудового поведения; разработать и апробировать каскадно-кластерную модель с уровневой структурой и механизмом фасилитирующего сопровождения; определить условия эффективности.

Гипотеза исследования: эффективное внедрение инноваций (на примере ФГОС) возможно при условии построения каскадно-кластерной модели повышения квалификации, в которой курсовая подготовка сочетается с внутрифирменным ПК; обеспечивается трансформацией внешней мотивации избегания неудач во внутреннюю мотивацию достижения успеха через формирование личностного смысла, создание ситуаций успеха и погружение в активную творческую деятельность; фасилитатор сопровождает педагогов на всех этапах – от са-

моопределения до самостоятельной трансляции освоенных технологий в своих образовательных организациях [3; 4; 5].

Рассмотрим теоретические основы модели ПК. В основу модели положены идеи деятельностного подхода (А.Н. Леонтьев), концепции мотивации трудовой деятельности (Д. МакКлелланд, А. Маслоу, Х. Хекхаузен, Е.П. Ильин), андрагогические принципы обучения взрослых (С.Г. Вершловский, М.Т. Громкова, С.И. Змеев). Ключевая роль отводится фасилитации – созданию среды, в которой педагог самостоятельно «присваивает» инновацию, а не пассивно воспринимает готовые рецепты.

Программа повышения квалификации «Подготовка управленческих и педагогических кадров к реализации государственной образовательной политики (на примере ФГОС как системной инновации)» строится как организационно-педагогическая структура, сочетающая очное обучение с инновационной деятельностью слушателей в своих образовательных организациях. Ее специфика: подготовка школьных команд (руководители, заместители, методисты, учителя); адекватные формы очных и заочных занятий с продуктивной деятельностью; трехуровневая структура, включающая основную, технологический, организационно-деятельностный блоки [1].

Рассмотрим особенности каскадно-кластерной модели. Каскад определяет вертикальную структуру уровней. Основной уровень – анализ проблемных ситуаций, выявление дефицитов компетенций, формирование запросов. Технологический уровень – проектирование и разработка программы ПК, внедрение в курсовой и межкурсовой период. Организационно-деятельностный уровень – реализация программы, апробация, самостоятельная деятельность выпускников в своих образовательных организациях, посткурсовое консультирование.

Кластер задает горизонтальную организацию деятельности (подготовка педагогов к инновационной деятельности) через систему ступеней. «Нулевая ступень», статус – слушатель курсов, функционал – самоопределение, освоение программы ФГОС; «Первая» – наблюдатель, участник тренинга тренеров, интериоризация технологии ведения курсов; «Вторая» – транслятор технологии, проведение занятий 1:1, точное копирование сценария; «Третья» – транслятор-разработчик. (ко-фасилитатор), элементы собственных разра-

боток; «Четвертая» – разработчик-сценарист (фасилитатор), собственная программа в рамках освоенной технологии; «Пятая» – автор-разработчик, создание новой технологии, программы.

Приведем краткое содержание уровней программы. *Уровень 1* (основной): управление инновационными процессами, концептуальные основы ФГОС, управление человеческими ресурсами, теории мотивации, технологии проектирования. *Уровень 2* (технологический): механизмы создания правовых, информационных, кадровых условий; проектирование уроков; критериальная оценка. *Уровень 3* (организационно-деятельностный): организация внутрифирменного ПК, делегирование полномочий, оценка эффективности, проектный практикум.

Эксперимент проводился в 2018–2023 гг. в общеобразовательных организациях городов Москвы, Екатеринбурга, Нижнего Новгорода, Бора, Дзержинска, Домодедово. В эксперименте участвовали 400 учителей и руководителей в экспериментальных группах и аналогично в контрольных группах. В исследовании использовался диагностический инструментарий: модифицированная методика А. Мехрабиана для измерения результирующей тенденции мотивации (стремление к успеху / избегание неудач); анкета готовности к внедрению ФГОС (авторская); проективный тест «Смысл ФГОС» (авторский); тест «неоконченных предложений» для оценки личностного смысла и ценностного отношения.

На констатирующем этапе эксперимента осуществлялась входная диагностика мотивации и готовности; на поисковом – проверка гипотезы о влиянии ситуации успеха и активной деятельности, выявление краткосрочного эффекта; на формирующем – внедрение каскадно-кластерной модели с полным фасилитирующим сопровождением. Результаты эксперимента были обобщены по контрольным и экспериментальным группам, городам, этапам эксперимента, применяемым диагностическим методикам. Результаты интерпретированы и выявлены тенденции.

Представим краткое описание результатов эксперимента.

Констатирующий этап. Диагностика мотивации показала: у 87 % педагогов – доминирует мотивация избегания неудач; у 9 % – мотивация достижения успеха; у 4 % – неустойчивая мотивация. Анкетирование готовности к введе-

нию ФГОС выявило: только 3 % педагогов обладают достаточными знаниями и умениями; 26 % имеют интерес, но недостаток знаний; 11 % не знают способов реализации; 42 % выступают против введения ФГОС как инновации; 18 % против любой инновационной деятельности.

Среди руководителей: только 6 % – высокий уровень готовности, 41 % – интерес при дефиците знаний, 30 % не знают способов реализации, 11 % против ФГОС, 12 % против инноваций.

Формирующий этап. На этом этапе была реализована экспериментальная программа ПК в форме каскадно-кластерной модели. Среди руководителей на констатирующем этапе только 6 % имеют высокий уровень готовности, на формирующем этапе высокий уровень готовности вырос с 6 % до 87 %. На формирующем этапе анализ теста «неоконченных предложений» (120 слушателей) показал: 97 % – ценностное отношение к новому государственному заказу; 67 % – сформирован личностный смысл инновационной деятельности; 88 % – овладение понятийным аппаратом ФГОС; 77,6 % – владение концептуальными основами ФГОС.

Таким образом, гипотеза подтверждена: предложенная модель обеспечивает устойчивую трансформацию мотивации, формирование личностного смысла и рост профессиональной готовности к освоению и реализации инноваций.

На основе эксперимента выделены условия эффективности каскадно-кластерной модели, обеспечивающей трансформацию мотивации и появление личностного смысла введения инноваций: технологическая готовность педагога к освоению и внедрению инноваций; активная продуктивная деятельность педагога в процессе освоения инновации (проектирование, апробация, рефлексия); ситуация успеха – признание и одобрение результатов деятельности со стороны коллег, администрации; социализация результатов – включение опыта педагога в общешкольную практику; личностный смысл – ответ на вопрос «зачем мне это лично?», который формируется в диалоге с фасилитатором.

Центральным результатом исследования является разработка и экспериментальное обоснование каскадно-кластерной модели, лежащей в основе системы повышения квалификации, построенной на принципах андрагогической фасилитации. Данная модель продемонстрировала высокую эффективность в аспекте трансфор-

мации профессиональной мотивации, развития методических компетенций педагогов, появления личностного смысла введения инноваций.

Можно обобщить результаты проведенного исследования.

1. Разработанная каскадно-кластерная модель, лежащая в основе системы повышения квалификации, основанная на андрагогической фасилитации, обеспечивает последовательное формирование личностного смысла инновационной деятельности и трансформацию мотивации избегания неудач в мотивацию достижения успеха.

2. Эффективность модели подтверждена положительной динамикой: доля педагогов с достаточными компетенциями для внедрения ФГОС выросла с 3 % до 68 %, доля противников инноваций снизилась с 42 % до 17,6 %, у руководителей высокий уровень готовности увеличился с 6 % до 87 %.

3. У 97 % слушателей сформировано ценностное отношение к государственному заказу, у 67 % зафиксирован личностный смысл инновационной деятельности, 88 % овладели понятийным аппаратом ФГОС.

4. Выявлены организационные условия успешности эксперимента: уровневая структура обучения, сочетание курсовой и внутрифирменной подготовки, фасилитирующее сопровождение, создание ситуаций успеха и опора на личный профессиональный опыт слушателей.

5. Модель может быть рекомендована для использования в системе ДПО и в крупных образовательных комплексах при внедрении системных инноваций.

Резюмируем основные особенности построения системы повышения квалификации: двухуровневая архитектура, включающая каскад и кластер; три уровня программы – основной (проблемно-ориентированный), технологический (проектировочный) и организационно-деятельностный (внедренческий); ведущая роль фасилитатора, который в отличие от трансляционного обучения сопровождает педагога на всех этапах освоения и внедрения инноваций; интеграция курсовой и внутрифирменной подготовки, позволяющей осваивать инновации без длительного отрыва от работы и сразу внедрять их в образовательный процесс конкретной школы или комплекса.

Литература

1. Днепрова, Е.А. Исследование трансформации мотивации на основе использования во внутришкольном повышении квалификации учителей андрагогической фасилитации / Е.А. Днепрова // Муниципальное образование: инновации и эксперимент. – 2025. – № 5(102). – С. 46–53. – DOI: 10.36871/2306-8329_2025_102_5_46. – EDN: XWRHMZ.
2. Медведева, И.А. Подготовка педагога к формированию ценностного отношения к музыкальной деятельности у обучающихся / И.А. Медведева, М.Т. Виноградова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 1(196). – С. 118–120. – EDN: ZZKZRD.
3. Новикова, Г.П. Базовая фасилитация: от теории к практике применения / Г.П. Новикова, Е.А. Сиденко // Муниципальное образование: инновации и эксперимент. – 2020. – № 1. – С. 23–28. – EDN: SRWBRQ.
4. Понтелеева, М.А. Фасилитация в образовании / М.А. Понтелеева // Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки. – 2025. – № 26. – С. 133–137. – EDN: GVNPKX.
5. Сиденко, Е.А. К вопросу о процессе фасилитации в системе дополнительного профессионального педагогического образования / Е.А. Сиденко // Муниципальное образование: инновации и эксперимент. – 2018. – № 1. – С. 26–31. – EDN: YUCLUX.
6. Яфизова, Р.А. Проектная деятельность в образовательной среде как основа эффективной подготовки специалистов / Р.А. Яфизова, В.А. Попова, К.Ю. Хлопок // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2026. – № 2(197). – С. 131–134. – EDN: JTOVGC.

References

1. Dneprova, E.A. Issledovanie transformacii motivacii na osnove ispol'zovaniya vo vnutrishkol'nom povyshenii kvalifikacii uchitelej andragogicheskoy fasilitacii / E.A. Dneprova // Municipal'noe obrazovanie: innovacii i eksperiment. – 2025. – № 5(102). – S. 46–53. – DOI: 10.36871/2306-8329_2025_102_5_46. – EDN: XWRHMZ.

2. Medvedeva, I.A. Podgotovka pedagoga k formirovaniyu cennostnogo otnosheniya k muzykal'noj deyatel'nosti u obuchayushchihsya / I.A. Medvedeva, M.T. Vinogradova // *Perspektivy nauki*. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 1(196). – S. 118–120. – EDN: ZZKZRD.
 3. Novikova, G.P. Bazovaya fasilitaciya: ot teorii k praktike primeneniya / G.P. Novikova, E.A. Sidenko // *Municipal'noe obrazovanie: innovacii i eksperiment*. – 2020. – № 1. – S. 23–28. – EDN: SRWBRQ.
 4. Ponteleeva, M.A. Fasilitaciya v obrazovanii / M.A. Ponteleeva // *Obrazovanie i nauka bez granic: social'no-gumanitarnye nauki*. – 2025. – № 26. – S. 133–137. – EDN: GVNPKX.
 5. Sidenko, E.A. K voprosu o processe fasilitacii v sisteme dopolnitel'nogo professional'nogo pedagogicheskogo obrazovaniya / E.A. Sidenko // *Municipal'noe obrazovanie: innovacii i eksperiment*. – 2018. – № 1. – S. 26–31. – EDN: YUCLUX.
 6. YAfizova, R.A. Proektnaya deyatel'nost' v obrazovatel'noj srede kak osnova effektivnoj podgotovki specialistov / R.A. YAfizova, V.A. Popova, K.YU. Hlopok // *Perspektivy nauki*. – Tambov : NTF RIM. – 2026. – № 2(197). – S. 131–134. – EDN: JTOVGC.
-

© Е.А. Днепров, В.П. Сморчкова, 2026

ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОВ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Н.А. КОМАРОВА, Е.Г. ПЬЯНЗОВА

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева»,
г. Саранск*

Ключевые слова и фразы: физическая культура; средства физической культуры; студенты-программисты; координационные способности.

Аннотация: Целью исследования являлось описание возможности использования средств физической культуры для развития координационных способностей студентов ИТ-специальностей. Гипотеза исследования: физические упражнения координационной направленности можно использовать для стимуляции когнитивных процессов студентов-программистов. С помощью анализа научной литературы и собственного педагогического опыта выделены специальные физические упражнения для развития координационных способностей студентов. Приведены варианты выполнения координационных упражнений с мячами, на нестабильных поверхностях, на гимнастических скамьях и на координационных лестницах.

В жизни современных студентов-программистов умственные нагрузки занимают центральное место. Сидячая работа, несмотря на свою интеллектуальную насыщенность, часто приводит к снижению общей физической активности, ухудшению осанки, а также к развитию специфических проблем, связанных с моторикой и координацией. Большую часть своих учебных задач данная категория студентов выполняет в статичном положении, забывая, а по большей мере и не зная о том, что столь важные для них когнитивные функции можно развивать с помощью средств физической культуры.

Очень часто физическая культура воспринимается ими как второстепенный и малозначимый предмет. При этом данные многочисленных исследований подтверждают тот факт, что двигательная активность влияет не только на физическое развитие, но и имеет прямую взаимосвязь с развитием отдельных когнитивных качеств [1; 2]. Поэтому в мире кода и алгоритмов, требующего высокой концентрации, точности и гибкости мышления, для студентов ИТ-специальностей важно развитие и координа-

ционных способностей.

Координационные способности – это не только «поддержание равновесия тела в пространстве». Это сложный комплекс психомоторных качеств человека, который позволяет ориентироваться в пространстве, дифференцировать мышечные усилия, держать равновесие, двигаться ритмично, быстро и адекватно реагировать на внешние раздражители, гибко и быстро изменять характер движений, осуществлять согласованность в работе частей тела.

Различными экспериментальными данными подтверждено, что хорошо развитая координация способствует улучшению концентрации и внимания, снижению утомляемости, повышению скорости реакции, развитию пространственного мышления, поиску мозгом нестандартных решений, снижению уровня стресса и улучшению общего самочувствия, профилактике заболеваний опорно-двигательного аппарата [3].

Физическая культура в вузе – сложная многокомпонентная система, направленная прежде всего на общую физическую подготовку буду-

щих специалистов. Однако перед педагогом по физической культуре, работающим со студентами ИТ-специальностей в вузе, ставится задача подбора средств и методов, направленных и на развитие координационных способностей занимающихся с целью стимуляции их когнитивных процессов.

В связи с этим необходим комплексный подход для развития координационных способностей студентов-программистов, учитывающий их специфику и возможные ограничения.

Существует огромный арсенал доступных и эффективных средств физической культуры, который можно использовать для развития координации студентов данной специальности. Среди них можно отдельно выделить: упражнения с мячами, упражнения на нестабильных поверхностях (фитболы и балансировочные подушки), упражнения на гимнастических скамьях, упражнения на координационных лестницах и др.

Физические упражнения с мячом – универсальное средство физической культуры, которое включает целый комплекс физических качеств, напрямую влияющих на работу будущих программистов. Работая с мячом, задействуются различные группы мышц, нужен точный контроль над движениями, развивается пространственное восприятие и чувство равновесия. Мячи могут быть самыми различными: волейбольные, баскетбольные, футбольные, фитболы, мячи для большого тенниса.

Хочется особо отметить упражнения с мячами для большого тенниса – это компактный, удобный и доступный тренажер. Его небольшие размеры и вес делают его универсальным для широкого спектра упражнений на координацию.

Среди упражнений с ним можно выделить:

- жонглирования (подбрасывание и ловля мяча одной рукой, затем другой, сначала с небольшой скоростью, затем увеличивая ее; подбрасывать одной рукой – ловить другой; подбрасывать два мяча одновременно и ловить их, и др.);
- перебрасывания мяча между руками;
- упражнения на ловкость пальцев (сжимания/разжимания мяча, перекачивания мяча по пальцам, «пальцевой теннис»);
- перебрасывания мяча (с партнером, о стену);
- упражнения с отскоком (от пола, о стену);

- ведение и набивание мяча и др.

Помимо равномерной физической нагрузки на все тело, выполнение упражнений с теннисными мячами благотворно влияет на работу зрительного анализатора студента-программиста: постоянный контроль яркого мяча в поле зрения способствует расслаблению мышц глаза после длительной фокусировки на экране компьютера.

Физические упражнения на фитболе относятся к упражнениям на нестабильных поверхностях. Это еще одно средство физической культуры для развития координации, укрепления мышц кора и улучшения общего самочувствия студентов, требующее при работе постоянной стабилизации тела. Упражнения на нем способствуют постоянной активации мышц кора для поддержания равновесия, тренируются проприорецепторы, необходимые для ощущения тела в пространстве.

При работе на фитболе важно, чтобы он был подобран по весу занимающихся. Упражнения надо выполнять постепенно, начиная с простых, увеличивая нагрузку и скорость.

Рекомендуемые упражнения на фитболе:

- сидение с правильной осанкой;
- планка на фитболе;
- велосипед на фитболе;
- перекаты (лежа на спине, закинув ноги на фитбол, выполнять перекаты мяча вперед-назад);
- подъемы ног на фитболе (лежа спиной на фитболе, поочередно поднимать ноги);
- боковые наклоны на фитболе (сидя на мяче, медленно наклоняться в стороны, стараясь сохранить равновесие).

Для студентов-программистов, начинающих свой путь к развитию координационных способностей, отлично подойдут балансировочные подушки (босу-диски или полусферы). Они позволяют постепенно переходить к работе на нестабильной поверхности.

Упражнения на полусферах:

- простое стояние (встать на полусферу и удерживать равновесие 30–60 сек., постепенно увеличивая время, усложняя задание стоянием на одной ноге);
- перенос веса (стоя на полусфере, переносить вес тела с одной ноги на другую, сохраняя устойчивость);
- подъемы на носки (стоя на платформе, медленно подниматься на носки, затем опускаться);

– приседания (стоя на платформе, выполнять медленные приседания).

Гимнастическая скамья – традиционный инвентарь для проведения физкультурных занятий. Однако при творческом подходе упражнения на ней можно использовать для развития различных аспектов координации занимающихся.

Для развития баланса и равновесия используются: ходьба на скамейке (вперед, назад, с поворотами, на носках, на пятках), стояние на одной ноге (закрыв глаза / выполняя движения руками), перешагивания через скамью. Для пространственной ориентации выполняются прыжки через скамью, перекувы, наклоны, выпады, растяжки с использованием скамьи. С целью развития динамической координации и ритма возможны прыжки с приземлением на скамью, прыжки с отягощением, комбинированные движения (сочетание ходьбы, прыжков и поворотов на скамье).

Эффективный тренажер для развития координационных способностей студентов – координационная лестница, которую можно использовать и в спортивном зале, и на открытом пространстве. Выполнение физических упражнений на лестнице способствует улучшению концентрации и внимания, т.к. требует высокой сосредоточенности, развивает пространственное мышление (студенты оценивают расстояние, траекторию движения, ориентацию тела в пространстве), развивает мелкую моторику и точность движений, формирует дисциплину и целеустремленность.

Выполнения упражнений на координационной лестнице надо начинать с простых, постепенно усложняя и увеличивая скорость их выполнения, добавляя руки в движение, изменяя направления и ритм.

Рекомендуемые упражнения на координационной лестнице:

- ходьба по квадратам (шаг в каждый квадрат, через квадрат, на носках, на пятках, на внешней/внутренней стороне стопы);
- бег по квадратам (нога в каждый ква-

драт, через квадрат, спиной вперед, с высоким подниманием колена, со сгибанием голени, левым/правым боком вперед и др.);

– прыжки по квадратам (на одной ноге, затем на другой, на обеих ногах, внутрь клетки двумя ногами, наружу клетки двумя ногами, с приседом внутри квадрата, с приседом снаружи квадрата, с поворотом на 180° и 360°, и др.);

– боковой шаг (встать сбоку от лестницы – шаг правой ногой в квадрат, затем левой, затем с другой стороны, «ножницы»);

– боковые прыжки (встать сбоку от лестницы – прыжки одной ногой в квадрат, двумя ногами, с высоким подниманием колен, прыжки с поворотом).

Составляя группу упражнений для развития координации, педагог по физкультуре в вузе должен помнить, что они подбираются прежде всего с учетом уровня физической подготовки и индивидуальных особенностей студентов, а нагрузка и сложность их выполнения должны быть постепенными. Желательно объяснять, как конкретное упражнение влияет на организм и как оно связано с развитием когнитивных способностей, а также делать акцент на проприорецепции и осознанности движений.

Немаловажно – комплексность всех занятий в течение учебного года: они должны быть регулярными, систематическими, разнообразными и вариативными с использованием современных тренажеров и инструментов и поддержанием позитивного настроения (для удержания интереса студентов).

Безусловно, можно констатировать, что регулярные занятия по физической культуре с целенаправленно подобранными упражнениями на развитие координации не только позволяют нивелировать последствия сидячей учебной нагрузки студентов ИТ-специальностей, но и способствовать формированию гармонично развитой личности, способной к результативной умственной и физической работе. Эти упражнения могут использоваться как мощный инструмент для стимуляции развития когнитивных функций занимающихся.

Литература

1. Комарова, Н.А. Возможности использования теннисного мяча в физическом воспитании студентов-программистов / Н.А. Комарова, Л.Г. Майдокина, Е.Г. Пьянзова, В.В. Майдокин // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2023. – № 4(145). – С. 97–99. – EDN: CFBPZJ.
2. Паначев, В.Д. Инновационный метод развития координационных способностей студентов вуза / В.Д. Паначев, А.С. Ощепков // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. –

2008. – № 6(40). – С. 82–85. – EDN: GNAXIT.

3. Серикова, Ю.Н. Методика совершенствования координационных способностей студентов на основе применения «Координационной лестницы» / Ю.Н. Серикова, А.Ю. Нечаева, М.Ю. Мухамедова // Известия ТулГУ. Физическая культура. Спорт. – 2020. – № 9. – С. 66–71. – DOI: 10.24411/2305-8404-2020-10909. – EDN: VKTSIS.

References

1. Komarova, N.A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya tennisnogo myacha v fizicheskom vospitanii studentov-programmistov / N.A. Komarova, L.G. Majdokina, E.G. P'yanzova, V.V. Majdokin // Global'nyj nauchnyj potencial. – SPb. : NTF RIM. – 2023. – № 4(145). – S. 97–99. – EDN: CFBPZJ.

2. Panachev, V.D. Innovacionnyj metod razvitiya koordinacionnyh sposobnostej studentov vuza / V.D. Panachev, A.S. Oshchepkov // Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta. – 2008. – № 6(40). – S. 82–85. – EDN: GNAXIT.

3. Serikova, YU.N. Metodika sovershenstvovaniya koordinacionnyh sposobnostej studentov na osnove primeneniya «Koordinacionnoj lestnicy» / YU.N. Serikova, A.YU. Nechaeva, M.YU. Muhamedova // Izvestiya TulGU. Fizicheskaya kul'tura. Sport. – 2020. – № 9. – S. 66–71. – DOI: 10.24411/2305-8404-2020-10909. – EDN: VKTSIS.

© Н.А. Комарова, Е.Г. Пьянзова, 2026

ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ОБУЧЕНИЮ МАГИСТРАНТОВ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В НЕЯЗЫКОВОМ ВУЗЕ

Е.А. МОЛОДЫХ, С.В. ПАВЛОВА

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
г. Воронеж*

Ключевые слова и фразы: современные методы обучения; коммуникативная компетенция; преподавание иностранного языка; образование; технический вуз.

Аннотация: Цель статьи – рассмотреть особенности применения современных подходов к обучению иностранному языку магистрантов в неязыковом вузе. Гипотеза исследования: применение современных методов, приемов и технологий обучения иностранному языку способствует развитию иноязычной коммуникативной компетенции магистрантов и углубляет их знания в профессиональной области. Методы исследования включают как теоретический, так и эмпирический подходы, что позволяет всесторонне изучить и проанализировать данную проблему. Доказывается эффективность применения современных методов, приемов и технологий в процессе обучения иностранному языку магистрантов. Современные подходы к преподаванию иностранного языка повышают внимание и сосредоточенность студентов, мотивируют их практиковать навыки критического мышления на высоком уровне и тренируют способность решать нетрадиционные задачи.

В условиях глобализации и стремительно-го развития информационных технологий сегодня Россия не отстает от передовых мировых тенденций, что неизбежно оказывает влияние на процесс преподавания иностранных языков. Современные социально-экономические трансформации в России, а также глобальный информационный взрыв требуют обновления существующих подходов к обучению, включая переосмысление содержания, методик и технологий. В последних Федеральных государственных образовательных стандартах закреплена необходимость знания иностранного языка для будущих выпускников: выпускник вуза должен не только знать лингвистические средства иностранного языка, необходимые для общения в профессиональной сфере и в научной среде, владеть навыками монологической и диалогической речи для участия в академических и профессиональных дискуссиях, но и ориентироваться в культуре, традициях и обычаях стран изучаемого языка, разбираться в правилах речевого этикета, этических нормах обще-

ния с коллегами и партнерами. Как мы видим, в современной вузовской практике преподавания иностранных языков приоритет отдается коммуникативному подходу. Коммуникативный подход ориентирован на развитие коммуникативных умений во всех видах речевой деятельности с целью обеспечения возможности общения в реальных жизненных и профессиональных ситуациях, актуальных для студентов.

Современный процесс обучения иностранному языку в вузе ориентирован на развитие коммуникативной компетенции, использование цифровых технологий, личностно ориентированный, профессионально-ориентированный и межкультурный подходы, что предопределяет выбор методов, приемов и технологий обучения.

В процессе обучения магистрантов с целью развития у них коммуникативной компетенции мы используем ряд современных методов, приемов и технологий обучения, таких как обучение на основе заданий, проектный метод, интерактивное обучение, кейс-стади, метод по-

гужения, лексический подход, смешанное обучение. Рассмотрим некоторые из них более подробно.

Обучение на основе заданий (*Task-Based Learning*) – технология обучения, разработанная в рамках коммуникативного подхода, при которой акцент делается не на результат, а на сам процесс обучения, во время которого создается коммуникативная ситуация, ставится задача и дается возможность ее решить, используя имеющиеся знания, высказаться по проблеме. Это способствует развитию критического мышления и формированию профессиональных умений и навыков. Данный подход базируется на применении аутентичного языка и выполнении значимых задач с его помощью. Метод ориентирован на самостоятельный поиск новых знаний и способов решения различных проблем, что способствует инициативному усвоению новой информации. Магистранты расширяют свой кругозор и языковые компетенции, приобретая опыт практического использования языка, учатся воспринимать и понимать иностранную речь, а также эффективно общаться при обсуждении проблем, работать с разнообразными интернет-ресурсами, электронными словарями и библиотеками, что обеспечивает непосредственный контакт с аутентичным языком, чего невозможно достичь, используя только учебник в аудитории. Например, мы предлагаем студентам следующие задания.

Обсудите в группах данную проблему: *The pros and cons of exploring space*. Следуйте предложенной структуре: *One reason for exploring space is... Exploration will allow us to ... It is possible that ... Further, exploration might ... It will make it possible for us to ...*

Согласны ли вы со следующими высказываниями, обоснуйте свой ответ.

– *Access to space is very expensive and it is one of the main reasons that keeps us from further exploring the solar system.*

– *Exploring space-based phenomena expands our knowledge of physics and the cosmos.*

– *It is expected that the commissioning of new means for exploring outer space will increase the person's chances of finding brothers by reason.*

В процессе обучения иностранному языку магистрантов мы часто используем ресурсы *TED talks*, что уже неоднократно отмечали в своих работах [2; 3]. На данной платформе легко найти подходящие видеоматериалы для различных направлений подготовки. Лекции здесь

уже зачастую затрагивают ту или иную актуальную проблему, что стимулирует у обучающихся желание выразить свое мнение на иностранном языке. Они активно обсуждают предложенную проблему, тем самым развивая иноязычную коммуникативную компетенцию. Рассмотрим один из примеров таких заданий.

– Послушайте выступление Даниэль Вуд, которая возглавляет исследовательскую группу *Space Enabled* в лаборатории *MIT Media Lab*, на конференции *TED* и выполните следующие задания.

1. *Watch the TED talk. In which order (1–3) does Danielle Wood mention the following things (a–d)?*

a) *I wanted to be part of a team that would help break down barriers and improve the lives of girls around the world.*

b) *Communication satellites provide access to phone and internet service to almost any location on Earth.*

c) *That summer, I was privileged to work as an intern at NASA's Kennedy Space Center, and the miracle I was waiting for was the launch of the Columbia Space Shuttle carrying the Chandra X-Ray Observatory, a telescope that would allow scientists to peer into the edge of black holes.*

d) *So I decided to apply to a university where I could study aerospace engineering. And the following year, I started at MIT in my engineering training and joined a student project building space robots.*

2. *Read these comments to the TED talk. Which of the viewers do you agree / disagree with? Write a short reply to one of the comments, either agreeing or disagreeing and saying why.*

Кейс-стади (*Case study*) – метод обучения, основанный на использовании деловых игр, решении ситуационных задач, обсуждении реальных профессиональных сценариев, а также являющийся эффективным инструментом для формирования критического мышления и практического применения теоретических знаний у обучающихся. Например, для магистрантов, обучающихся по направлению 20.04.01 – «Экология», мы предлагаем в рамках темы «*Air pollution*» разбиться на группы и поработать с кейсом: «*Trees – an essential part of cities. What happens if you cut down all of a city's trees?*», составленном на основе материалов *TED talks*.

Для начала магистранты знакомятся с темой «зеленых городов», делятся на группы и погружаются в изучение ее специфики. Далее

демонстрируется список из нескольких названий видеороликов, связанных с природной средой, в каждом из которых пропущено одно слово. Обучающиеся должны дополнить названия словами из демонстрационного слайда на экране. Они размышляют о том, чему могли бы быть посвящены эти видеоролики, и обсуждают со своими одноклассниками, какие видео они хотели бы посмотреть и почему. Затем перед первым просмотром видеоролика о «зеленых городах» обучающиеся изучают пять вопросов с возможными вариантами ответов и отвечают на них. После этого они смотрят видео и проверяют, были ли они правы. Студенты размышляют над видео и делятся своим мнением по теме. Им также предлагается заполнить таблицу об источниках загрязнения атмосферы в городах и поразмышлять о методах ее очистки.

В конце работы обучающиеся должны представить, что их город запускает кампанию под названием «*The green future – think of future generation!*», направленную на просвещение людей о важности деревьев в городских районах. Их задача в небольших группах разработать план озеленения города и мер по очистке атмосферы. Магистранты представляют и защищают свой проект. На завершающем этапе работы над кейсом проходит обсуждение, сравнение результатов работы всех групп, обмен мнениями. Преподаватель подводит итоги и обобщает полученные результаты.

В своей работе с магистрантами мы также часто используем метод проектов для развития коммуникативных и организационных навыков в будущей профессиональной сфере деятельности обучающихся. Опросив магистрантов о том, где они уже работали или проходили практику, мы составили список предприятий, связанных с их будущей профессиональной деятельностью, с которыми они уже знакомы. Обучающиеся получают задание по подготовке презентации од-

ного из них.

Например: *Choose one of the following chemical plants located in Voronezh and make a presentation for your foreign guests about it.*

Важную роль в процессе преподавания иностранного языка мы отводим интерактивному обучению и дистанционным технологиям. Сюда входит применение онлайн-платформ (*Moodle*), мультимедийных ресурсов, в том числе ресурсов *TED talks*, электронных учебников, фильмов и музыки, а также дистанционное обучение. Магистранты выполняют задания, требующие поиска информации в интернете. Например, им предлагается подготовить доклады и обсудить такие актуальные вопросы, как научные открытия и инновации в России и странах изучаемого языка (Великобритания, США, Канада, Австралия), обзор последних научных событий или вклад науки в решение глобальных проблем человечества.

Использование электронных источников для самостоятельной подготовки домашних заданий по иностранному языку – это не просто рекомендация, а обязательное требование, поскольку в современном мире ни один специалист не может обойтись без обращения к интернет-ресурсам. Таким образом, применение современных подходов, методов, приемов и технологий дополняет традиционное обучение, оно стимулирует студентов размышлять, творить, искать решения непростых актуальных вопросов. В рамках коммуникативного подхода студенты учатся общаться, сотрудничать, что воспитывает такие нравственные ценности, как взаимопомощь и умение сопереживать, активизирует творческие способности.

Применение современных подходов к обучению магистрантов иностранному языку позволяют им применить накопленные знания по предмету, совершенствовать свои знания в профессиональной сфере.

Литература

1. Колесниченко, А.Н. Применение кейс-метода в рамках профессионально ориентированного подхода к обучению в техническом вузе / А.Н. Колесниченко // Педагогическое образование в России. – 2024. – № 2. – С. 177–184. – EDN: GSINNU.
2. Молодых, Е.А. Использование аутентичных видеоматериалов как средство развития способности магистрантов к научной коммуникации / Е.А. Молодых, С.В. Павлова // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2022. – № 9(156). – С. 172–175. – EDN: VGOAQV.
3. Молодых, Е.А. Особенности применения проблемного подхода к обучению иностранному языку в вузе с использованием современных электронных образовательных ресурсов / Е.А. Молодых, М.В. Вогормян // Глобальный научный потенциал. – СПб. : ТМБпринт. – 2021. – № 6(123). –

C. 137–140. – EDN: YDWZKB.

References

1. Kolesnichenko, A.N. Primenenie kejs-metoda v ramkah professional'no orientirovannogo podhoda k obucheniyu v tekhnicheskom vuze / A.N. Kolesnichenko // *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii*. – 2024. – № 2. – S. 177–184. – EDN: GSINNU.
2. Molodyh, E.A. Ispol'zovanie autentichnyh videomaterialov kak sredstvo razvitiya sposobnosti magistrantov k nauchnoj kommunikacii / E.A. Molodyh, S.V. Pavlova // *Perspektivy nauki*. – Tambov : TMBprint. – 2022. – № 9(156). – S. 172–175. – EDN: VGOAQV.
3. Molodyh, E.A. Osobennosti primeneniya problemnogo podhoda k obucheniyu inostrannomu yazyku v vuze s ispol'zovaniem sovremennyh elektronnyh obrazovatel'nyh resursov / E.A. Molodyh, M.V. Vogormyan // *Global'nyj nauchnyj potencial*. – SPb. : TMBprint. – 2021. – № 6(123). – S. 137–140. – EDN: YDWZKB.

© Е.А. Молодых, С.В. Павлова, 2026

АКСИОЛОГИЧЕСКИЙ И КОНТЕКСТНЫЙ ПОДХОДЫ В ПОДГОТОВКЕ УЧИТЕЛЕЙ ОБЗР: ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ СИТУАЦИЙ

В.Ю. САФОНОВА, Л.А. АКИМОВА

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный педагогический университет»,
г. Оренбург

Ключевые слова и фразы: профессиональная готовность педагога; аксиологический подход; контекстный подход; моделирование учебных ситуаций; профессиональные ценностные ориентации; профессиональная переподготовка.

Аннотация: В статье обосновывается необходимость интеграции аксиологического и контекстного подходов при подготовке учителей учебного предмета «Основы безопасности и защиты Родины». Цель исследования – теоретическое и практическое обоснование аксиологического и контекстного подходов как методологической основы моделирования учебных ситуаций в процессе подготовки учителей ОБЗР. Методика включает три последовательных этапа: аналитический, проектировочный и оценочно-рефлексивный – и реализуется на модульной основе с учетом гетерогенности слушателей, то есть лиц с педагогическим образованием и без него. Результаты исследования подтверждают, что систематическое моделирование учебных ситуаций, содержащих ценностные дилеммы, способствует не только формированию операциональных умений, но и перестройке ценностно-смысловой сферы педагога.

Современный этап развития российского образования характеризуется кардинальным обновлением содержания предметных областей, связанных с обеспечением безопасности личности, общества и государства. Введение учебного предмета «Основы безопасности и защиты Родины» (ОБЗР), пришедшего на смену традиционному курсу «Основы безопасности жизнедеятельности», обусловлено объективными вызовами национальной безопасности, зафиксированными в Стратегии национальной безопасности Российской Федерации. Данный предмет интегрирует не только знания о безопасном поведении в чрезвычайных ситуациях, но и основы военной подготовки, тактической медицины, гражданской обороны, что предъявляет принципиально новые требования к профессиональной компетентности педагогических кадров.

Актуальность исследования обусловлена рядом противоречий. С одной стороны, государственный заказ на подготовку учителей ОБЗР предполагает формирование у них целостной готовности к преподаванию, с другой

стороны, существующая система повышения квалификации и профессиональной переподготовки зачастую ориентирована преимущественно на передачу предметного содержания, оставляя без должного внимания ценностно-смысловую сферу педагога и его способность действовать в нестандартных, контекстных ситуациях, моделирующих реальные угрозы. К.Р. Хачатурова отмечает, что в условиях трансформации образования и формирования единой информационно-образовательной среды особую значимость приобретает развитие профессионально-творческих компетенций педагогов в процессе обучения или переподготовки, их готовности к непрерывному саморазвитию и гибкому реагированию на изменяющиеся условия [7, с. 324].

Проблема исследования в определении, каким должно быть теоретическое и методическое обеспечение педагогического сопровождения, чтобы целенаправленно формировать интегративную профессиональную готовность различных категорий педагогических кадров к преподаванию учебного предмета ОБЗР.

Цель исследования: теоретическое и практическое обоснование аксиологического и контекстного подходов как методологической основы моделирования учебных ситуаций в процессе подготовки учителей ОБЗР, представлении результатов пилотажного исследования.

Аксиологический подход в педагогическом образовании предполагает рассмотрение ценностей как смыслообразующих ориентиров профессиональной деятельности. Как отмечают С.Б. Серякова и Д.Т. Гонтар, «аксиологический подход в профессиональном воспитании будущих специалистов приобретает особую значимость в условиях современных образовательных систем». Подготовка педагогов, способных эффективно работать в условиях быстро меняющихся реалий, требует не только профессиональных знаний и умений, но и глубокого понимания ценностных ориентиров профессии [5, с. 138].

А.А. Печерская при изучении компонентов профессиональных ценностных ориентаций учителей выделяет три взаимосвязанных компонента ценностных ориентаций: когнитивный как осознание ценностей, убеждений, идеалов; эмотивный как эмоциональное принятие, переживание значимости; поведенческий как реализация ценностей в поступках и деятельности [3, с. 149].

Контекстный подход, разработанный в трудах А.А. Вербицкого и его последователей, исходит из положения о том, что наиболее эффективное профессиональное обучение происходит в условиях, максимально приближенных к реальной профессиональной деятельности. Основная идея контекстного подхода – моделирование в учебном процессе предметного и социального содержания будущего труда [6, с. 115].

Как показано в исследовании Л.А. Акимовой, Е.Е. Лутовиной и И.Н. Корневой, результативность подготовки педагогов к обеспечению безопасности в профессиональной деятельности обеспечивается реализацией организационно-деятельностных конструктов «непрерывность», «гармонизация» и «консолидация». Авторы экспериментально доказали статистически значимую положительную динамику владения педагогами технологическим инструментарием обеспечения безопасности после внедрения разработанных конструктов [1, с. 720].

Н.А. Самойлик отмечает, что под про-

фессионально-ценностными ориентациями понимается отраженная в сознании человека система представлений, характеризующая отношение к профессиональной деятельности как психологически и социально значимой. Автор выделяет когнитивный, эмоциональный и поведенческий типы профессионально-ценностных ориентаций [4, с. 193].

В исследовании Лу Цзя и В.В. Серикова обосновывается, что сформированное профессиональное мировоззрение является ключевым аспектом подготовки будущих педагогов, поскольку определяет их педагогические установки, ценностные ориентации и способность к профессиональной рефлексии [2, с. 237].

Таким образом, аксиологический подход обеспечивает формирование у педагога личностного принятия ценностей безопасности и защиты Родины, развитие его ценностно-смысловой сферы. Контекстный подход, реализуемый через моделирование учебных ситуаций, позволяет перевести эти ценности в плоскость практических действий, сформировать опыт поведения в условиях, приближенных к реальным профессиональным вызовам. Интеграция двух подходов достигается через специально сконструированные учебные ситуации, которые одновременно содержат ценностную дилемму и требуют операционального реагирования. В отличие от простой тренировки алгоритмов, моделирование учебных ситуаций предполагает создание таких квазипрофессиональных контекстов, в которых педагог не только отрабатывает операциональные действия, но и сталкивается с необходимостью ценностного выбора, моральной оценки, личностного принятия решения.

В рамках пилотажного исследования была разработана и апробирована методика моделирования учебных ситуаций с целью последующей доработки и тиражирования в системе дополнительного профессионального образования. Учитывая гетерогенность состава участников, моделирование ситуаций строилось по модульному принципу. Базовый модуль, включающий универсальные профессиональные задачи: планирование урока, проведение инструктажей, действия при типовых чрезвычайных ситуациях, ведение документации, был предложен всем категориям слушателей. Однако для педагогов, имеющих профильное образование, и для слушателей без педагогической подготовки были разработаны дополнительные специ-

ализированные модули. В первом случае акцент сделан на углублении предметного содержания ОБЗР: военная подготовка, тактическая медицина и др. Типология моделируемых ситуаций строилась по трем основаниям: по доминирующей профессиональной задаче, по характеру ценностной дилеммы и по формату работы. Организация работы с ситуациями включала три последовательных этапа.

На аналитическом этапе участники индивидуально письменно решали кейсы, аргументируя свои действия ссылками на нормативные документы, а затем в малых группах сравнивали решения, выявляя ключевые расхождения.

На проектировочном этапе каждый участник разрабатывал собственный банк из не менее пяти ситуаций для различных разделов курса ОБЗР с обязательным включением ценностной дилеммы, после чего материалы сдавались на проверку преподавателю и обсуждались с получением экспертной обратной связи.

На оценочно-рефлексивном этапе, проводимом в форме ролевой игры «Алгоритм «Внимание всем», участники с распределением ролей действовали в имитируемой чрезвычайной ситуации, после чего эксперт анализировал ключевые решения с точки зрения их ценностной обоснованности, педагогической целесообразности и соответствия нормативной базе.

Критериями эффективности овладения методикой выступили три группы показателей, соотнесенные с компонентами профессиональной готовности. *Мотивационный компонент* оценивался по показателю «ценностная обоснованность решения»: сформированность у участников таких ценностей, как безопасность, патриотизм, жизнь и здоровье обучающихся. *Гносеологический компонент* конкретизировался в полноте и точности знаний нормативно-правовых актов, регулирующих деятельность учителя, алгоритмы действий, возрастные особенности учащихся и др. *Праксеологический компонент* конкретизировался в технологической реализации предложенного решения в реальных условиях общеобразовательной организации за ограниченное время. Каждый критерий оценивался экспертами по пятибалльной шкале, а пороговым значением успешного освоения являлись 4 балла по каждому из трех по-

казателей.

В рамках пилотажного исследования по апробации разработанной методики моделирования учебных ситуаций приняли участие 54 респондента, среди которых 27 участников с педагогическим образованием и 27 – без педагогического образования. Результаты входного контроля показали, что доля участников, показавших высокий уровень готовности самостоятельно к моделированию учебных ситуаций, требующих ценностной аргументации, составляла 18,5 %. После завершения аналитического, проектировочного и оценочно-рефлексивного этапов педагогического сопровождения результаты контрольного оценивания показали, что количество участников с высоким уровнем в среднем возросло до 37,03 %.

В группе участников с непедагогическим образованием количество участников с высоким уровнем готовности составило 48,1 %. Это подтверждает, что систематическое моделирование учебных ситуаций, содержащих ценностные дилеммы, способствует не только формированию операциональных умений, но и перестройке ценностно-смысловой сферы педагога. Анализ результатов пилотажного исследования позволяет говорить о целесообразности масштабирования разработанной методики на полную программу профессиональной переподготовки с обязательным включением вариативных модулей, дифференцированных по категориям слушателей, а также индивидуализацию образовательных маршрутов.

Аксиологический и контекстный подходы выступают методологическим базисом формирования профессиональной готовности педагога к преподаванию учебного предмета «Основы безопасности и защиты Родины», поскольку обеспечивают, с одной стороны, личностное принятие ценностей безопасности и патриотизма, а с другой – погружение педагога в ситуацию, максимально приближенные к реальным профессиональным вызовам. Методика моделирования учебных ситуаций, включающая вариативные модули с учетом различных категорий участников и содержащая аналитический, проектировочный, оценочно-рефлексивные этапы, показала свою эффективность в рамках пилотажного эксперимента.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства просвещения РФ № 073-03-2026-055/1 по теме «Педагогическое сопровождение профессиональной подготовки кадров в области «Основы безопасности и защиты Родины».

Литература

1. Акимова, Л.А. Организационно-деятельностные конструкты подготовки педагогов к обеспечению безопасности в профессиональной деятельности / Л.А. Акимова, Е.Е. Лутовина, И.Н. Корнева // Перспективы науки и образования. – 2026. – № 1(79). – С. 715–729. – DOI: 10.32744/pse.2026.1.45. – EDN: LCZHQU.
2. Лу, Ц. Формирование профессионального мировоззрения будущих педагогов через диалогическое общение / Ц. Лу, В.В. Сериков // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 5(176). – С. 237–239. – EDN: QACQCA.
3. Печерская, А.А. Методика исследования профессиональных ценностных ориентаций учителя / А.А. Печерская // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2016. – № 6. – С. 148–154. – EDN: WMFGZT.
4. Самойлик, Н.А. Типология и психологическая диагностика профессионально-ценностных ориентаций личности / Н.А. Самойлик // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2016. – Т. 5. – № 1(14). – С. 193–196. – EDN: VODIRV.
5. Серякова, С.Б. Аксиологический подход к профессиональному воспитанию будущих педагогов-психологов / С.Б. Серякова, Д.Т. Гонтар // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 10(181). – С. 138–140. – EDN: GOZIEI.
6. Смирнов, И.П. Контекстный метод академика Вербицкого: возможна ли революция в дидактике? / И.П. Смирнов // Образование и наука. – 2021. – № 4. – С. 108–125. – DOI: 10.17853/1994-5639-2021-4-108-125. – EDN: FDRCXI.
7. Хачатурова, К.Р. Развитие профессиональной творческой активности педагогов: концептуальные обоснования и стратегическая парадигма / К.Р. Хачатурова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 3(174). – С. 324–331. – EDN: CGRUOX.

References

1. Akimova, L.A. Organizacionno-deyatel'nostnye konstrukty podgotovki pedagogov k obespecheniyu bezopasnosti v professional'noj deyatel'nosti / L.A. Akimova, E.E. Lutovina, I.N. Korneva // Perspektivy nauki i obrazovaniya. – 2026. – № 1(79). – S. 715–729. – DOI: 10.32744/pse.2026.1.45. – EDN: LCZHQU.
2. Lu, C. Formirovanie professional'nogo mirovozzreniya budushchih pedagogov cherez dialogicheskoe obshchenie / C. Lu, V.V. Serikov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 5(176). – S. 237–239. – EDN: QACQCA.
3. Pecherskaya, A.A. Metodika issledovaniya professional'nyh cennostnyh orientacij uchitelya / A.A. Pecherskaya // Vestnik CHelyabinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. – 2016. – № 6. – S. 148–154. – EDN: WMFGZT.
4. Samojlik, N.A. Tipologiya i psihologicheskaya diagnostika professional'no-cennostnyh orientacij lichnosti / N.A. Samojlik // Azimut nauchnyh issledovaniy: pedagogika i psihologiya. – 2016. – T. 5. – № 1(14). – S. 193–196. – EDN: VODIRV.
5. Seryakova, S.B. Aksiologicheskij podhod k professional'nomu vospitaniyu budushchih pedagogov-psihologov / S.B. Seryakova, D.T. Gontar // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 10(181). – S. 138–140. – EDN: GOZIEI.
6. Smirnov, I.P. Kontekstnyj metod akademika Verbickogo: vozmozhna li revolyuciya v didaktike? / I.P. Smirnov // Obrazovanie i nauka. – 2021. – № 4. – S. 108–125. – DOI: 10.17853/1994-5639-2021-4-108-125. – EDN: FDRCXI.
7. Hachaturova, K.R. Razvitie professional'noj tvorcheskoy aktivnosti pedagogov: konceptual'nye obosnovaniya i strategicheskaya paradigma / K.R. Hachaturova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 3(174). – S. 324–331. – EDN: CGRUOX.

ИСТОРИКО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЕННОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ В ВУЗАХ СОВЕТСКОГО СОЮЗА ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX-ГО ВЕКА

Д.В. ЧАЛКИН, И.П. КАН

*ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
г. Москва*

Ключевые слова и фразы: военная подготовка студентов; мобилизационный резерв; военная кафедра; офицерский состав; система подготовки; гражданская специальность; сержанты.

Аннотация: В статье проведен анализ системы военной подготовки в гражданских вузах СССР во второй половине XX в. Рассмотрены принципы военной подготовки с отражением эволюции целей, содержания, методов и нормативной базы этого уникального педагогического феномена. Целью работы является историко-педагогический анализ системы военной подготовки в вузах СССР во второй половине XX в., выявление ее этапов, содержания, методов, противоречий и педагогического наследия. Задачи статьи: проанализировать нормативно-правовую базу, этапы, цели, содержание, организационные формы, выявить противоречия и кризис, сформулировать достижения и недостатки. Гипотеза исследования: предположение, что советская система военной подготовки в гражданских вузах была эффективна в решении мобилизационных задач, но имела внутренние педагогические противоречия, которые нарастали к концу периода. Методы исследования: историко-педагогический анализ, ретроспективный, сравнительно-исторический, анализ нормативных документов, архивных материалов, синтез, классификация, педагогическое наблюдение. Достигнутые результаты: в рамках данного исследования были выявлены этапы, описана структура подготовки, раскрыты противоречия, доказана гипотеза о двойственной природе системы, сформулировано наследие для современного военного образования.

Введение

Вторая половина XX в. стала для Советского Союза периодом глобальной геополитической конфронтации, т.н. «холодной войны», что требовало постоянной готовности Вооруженных Сил СССР к отражению агрессии. В этих условиях критическое значение приобретала не только численность армии, но и качество мобилизационного резерва в первую очередь – офицерского состава. Высшие учебные заведения стали ключевым звеном в решении этой задачи, взяв на себя функцию подготовки высококвалифицированных офицеров запаса из числа студентов.

В интересах проводимого анализа выделим следующие аспекты, которые подлежат рассмо-

трению (рис. 1).

Актуальность: историко-педагогический анализ обусловлен необходимостью осмысления опыта интеграции военной подготовки в академическую среду вуза. Советская модель, просуществовавшая в неизменном виде до конца 80-х гг. XX в., представляла собой синтез высшего образования и военной школы, имеющих как педагогические достижения, так и системные противоречия.

Нормативно-правовая база и этапы становления системы военной подготовки

I этап. Послевоенное восстановление и институционализация (1945–1953 гг.). Великая Отечественная война показала жизненную



Рис. 1. Аспекты проводимого ретроспективного анализа военной подготовки

необходимость наличия у гражданских специалистов военных знаний. Постановлением Совета Народных Комиссаров СССР от 13 апреля 1944 года № 413 «О военной подготовке студентов высших учебных заведений» было утверждено «Положение о военной подготовке студентов высших учебных заведений» [5]. Этот документ заложил основы системы допризывной военной подготовки в советских вузах и ввел термин «военные кафедры».

Основные положения постановления.

1. Цели военной подготовки: воспитание студенческой молодежи в духе беззаветной любви к Родине и преданности советской власти; подготовка дисциплинированного, физически крепкого и выносливого, овладевшего военным делом офицерского и сержантского состава запаса Красной Армии; подготовка студентов, признанных негодными к строевой службе, а также студенток для несения тыловой и вспомогательной технической службы в Красной Армии [1].

2. Руководство подготовкой осуществлялось Народным комиссариатом обороны СССР и Комитетом по делам высшей школы при Совнаркоме СССР.

3. Профиль военной подготовки в каждом высшем учебном заведении устанавливали Народный комиссариат обороны СССР и Комитет по делам высшей школы при Совнаркоме СССР.

4. Программы по военной подготовке студентов высших учебных заведений утверждались Народным комиссариатом обороны СССР и Комитетом по делам высшей школы при Совнаркоме СССР.

5. Народному комиссариату обороны СССР предписывалось укомплектовать к 1 июля 1944 г. должности начальников кафедр, начальников учебных частей и преподавателей военных кафедр высших учебных заведений лицами из числа офицеров и генералов.

Стоит отметить, что военная подготовка в вузах велась не просто «до окончания войны», а стала неотъемлемой частью учебного процесса в послевоенный период. Изначально подготовка носила «общевойсковой» характер, однако уже к концу 1940-х гг. началась диверсификация. Например, в Московском лесотехническом институте (МЛТИ) до 1947 г. велась подготовка медицинских сестер (для девушек), а затем – штурманов и аэродромных строителей. В Ярославском институте резиновой промышленности с 1945 г. готовили офицеров-артиллеристов (пиротехников). Педагогический коллектив военных кафедр формировался из офицеров-фронтовиков, имевших боевой опыт.

На основании Постановления Совета Народных Комиссаров СССР от 13 апреля 1944 года № 413 и приказа НКО СССР от 30 мая 1944 года № 75 [1] в ряде вузов были созданы

военные кафедры. Например, в Московском государственном стоматологическом институте была учреждена кафедра военно-медицинской подготовки.

II этап. «Оттепель» и реформа Г.К. Жукова (1956–1960 гг.). Ключевым документом, определившим облик военной подготовки на следующие 30 лет, стала записка Маршала Советского Союза Г.К. Жукова в ЦК КПСС от 9 августа 1956 г. Документ посвящен вопросам военной подготовки студентов вузов и курсантов специальных учебных заведений СССР с целью подготовки офицеров запаса для Советской Армии и Военно-морского флота.

Текущая система подготовки (согласно постановлению Совета министров СССР от 29.07.1954 № 1542 692с) включала:

- теоретические занятия в вузе: 360–540 часов;
- 30-дневный лагерный сбор в войсках после предпоследнего курса;
- для курсантов мореходных, арктических и речных училищ: дополнительно 6-месячная стажировка на кораблях и в воинских частях ВМФ.

В процессе анализа существовавший на тот момент системы военной подготовки Маршал Советского Союза Г.К. Жуков констатировал серьезный недостаток: студенты получали теорию, но не имели командной практики.

Предложения Г.К. Жукова легли в основу реформы Министерства обороны СССР [3].

1. Для студентов командных профилей вводилась месячная стажировка в войсках после получения диплома (диплом выдавался только после ее прохождения).

2. Для будущих офицеров штурманской службы была добавлена двухмесячная летняя стажировка после окончания вуза.

3. Были освобождены от учебных сборов студенты военно-морских инженерных профилей обучения, чья военная подготовка полностью совпадала с гражданской специальностью.

4. Социальные гарантии: сохранялась стипендия во время стажировки; выдавались дипломы после завершения стажировки.

5. Улучшение материальной базы: военные кафедры обеспечивались современным вооружением и военной техникой; оборудовались лаборатории, классы, тир, полигоны и т.д.

Министерство обороны СССР было обязано оснащать военные кафедры современным оружием и техникой (танки, самолеты, артилле-

рийские системы). Этот этап, по сути, ознаменовал переход от чисто учебной подготовки к системе, приближенной к реальной войсковой службе.

III этап. Принятие Закона СССР «О всеобщей воинской обязанности» 1967 г. закрепило систему «военная кафедра + начальная военная подготовка». Начальная военная подготовка (НВП) вводилась в школах и средних специальных заведениях, создавая фундамент для вузовского обучения. В 1970-е гг. сеть военных кафедр охватила практически все крупные политехнические, промышленные и классические университеты страны. Профили подготовки стали максимально разнообразными: от мотострелков и зенитчиков до специалистов по электронному оборудованию летательных аппаратов.

Цели и педагогические задачи военной подготовки

Система военной подготовки в СССР преследовала триединую цель: военно-профессиональную, педагогическую и социально-воспитательную. Рассмотрим кратко каждую из них более детально.

1. Военно-профессиональная цель: подготовка офицера запаса, способного по мобилизации занять штатную должность в войсках. Согласно документам, например, Московского Летного Технического Института, в 1950–60-е гг. на кафедрах готовили штурманов, техников по авиаприборам, специалистов аэродромного строительства – дефицитные в армии специальности, совпадающие с гражданским профилем.

2. Педагогическая цель: формирование компетенций по руководству вверенного личного состава. Маршал Советского Союза Г.К. Жуков особо подчеркивал, что «лекции не учат командовать взводом». Поэтому педагогический акцент смещался с репродуктивного усвоения уставов на практические действия в роли командира (управление личным составом, принятие решений, анализ обстановки).

3. Воспитательная (идеологическая) цель: формирование и развитие «советского патриотизма». Военная кафедра рассматривалась как инструмент политической социализации [3]. Преподаватели, среди которых были в том числе Герои Советского Союза, личным примером воспитывали чувство образцового выполнения



Рис. 2. Структура военной подготовки в гражданских вузах

воинского долга.

Структура учебного процесса военной подготовки

Содержание военной подготовки во второй половине XX в. отличалось высокой интенсивностью и прагматизмом. Общий курс, как правило, составлял от 360 до 540 аудиторных часов, распределенных по теоретическому и практическому блокам.

Теоретический блок военной подготовки включал:

- огневую подготовку: материальная часть стрелкового оружия (АКМ, АК-74), теория стрельбы, устройство гранат;
- тактическую подготовку: основы общевойскового боя, обязанности командира взвода;
- военно-специальные дисциплины: в зависимости от профиля – самолетовождение и бомбометание (для ВВС), эксплуатация автомобильной и бронетанковой техники, радиолокация и т.д.;
- общевоинские Уставы: строгое знание Строевого, Дисциплинарного и Боевого уставов Вооруженных Сил СССР. В Горьковском (Нижегородском) университете с 1957 г. обязательным для всех студентов (независимо от наличия военной кафедры) стал курс Гражданской

обороны (ГО), включавший действия в очагах ядерного поражения.

Особенностью практического блока военной подготовки было наличие двух видов практики, которые актуальны и по сей день.

1. Лагерные сборы (30 дней): по окончании предпоследнего курса студенты выезжали в воинские части. Здесь происходила «обкатка танками», стрельбы из штатного вооружения (БМП, артиллерийских орудий или авиационных пушек) и проживание в казарме.

2. Стажировка (1–2 месяца), введена в 1957 г. Студент, уже имеющий диплом инженера, стажировался в войсках в качестве курсанта или младшего офицера, получая реальные навыки командования. Учебно-материальная база вузов поражала масштабом. Например, уже в 1960–70-х гг. использовались реальные самолеты Ил-28, Як-26, на которых студенты-штурманы отрабатывали навыки, появились полноценные стрелковые тир и учебные полигоны.

Организационные формы и методы обучения

Система военной подготовки в гражданском вузе имела свою специфику, отличавшую ее как от суворовских училищ, так и от армейской среды. Целесообразно структуру военной

подготовки офицеров и сержантов в гражданских вузах представить в виде схемы (рис. 2).

Первой особенностью стала структура управления, так называемое «Двойное подчинение». Военная кафедра была уникальным структурным подразделением. С одной стороны, она подчинялась ректорату вуза (финансирование, помещения), с другой – Министерству обороны (учебные планы, инспекции, присвоение званий). Преподаватели кафедры – кадровые офицеры (часто с боевым опытом), носившие военную форму в гражданском учебном заведении, что создавало психологический контраст и повышало дисциплину среди студентов.

Вторая особенность – в педагогической практике доминировал комплексно-тематический метод.

Лекции проводились на потоке с использованием плакатов и макетов. Практические занятия в обязательном порядке включали отработку нормативов (например, сборку/разборку автомата). В основу лабораторных работ была положена практика экспериментально-исследовательского характера по изучению двигателей, радиостанций, систем навигации. Тактико-строевые занятия проводились на строевом плацу или в тактическом поле. Студенты, в отличие от курсантов военных училищ, не несли караульную службу и не имели запрета на увольнение с территории воинской части (с корабля на берег), но требования по освоению военных дисциплин для них были не менее жесткими. Сдача зачетов и экзаменов военной комиссии часто была стрессовым фактором, так как провал грозил отчислением из вуза.

Третья особенность – тесная связь с Добровольным обществом содействия армии, авиации и флоту (ДОСААФ). Студенты, не имевшие военной кафедры (например, гуманитарии) или желавшие повысить квалификацию, проходили через курсы ДОСААФ, получая специальности водителей, радистов, парашютистов. Это создавало единое пространство от школы до вуза.

Основные противоречия и кризис системы военной подготовки (1970-1980-е гг.)

К середине 1970-х гг. сложилась парадоксальная ситуация: формально система работала безупречно, готовя до 40 тысяч офицеров запаса ежегодно, однако педагогическая эффективность подготовки стала заметно снижаться. Представим объективные причины этого про-

цесса.

1. *Отрыв от реалий войны.* Война в Афганистане (1979–1989 гг.) показала, что подготовка в «гражданских» вузах зачастую носит «парадный» характер. Тактика борьбы с партизанами, действия в горах и городских условиях были слабо отражены в учебных программах, ориентированных на опыт Великой Отечественной войны.

2. *Технократический перекося.* Военные кафедры технических вузов делали упор на эксплуатацию техники, но выпускники-инженеры часто оказывались слабыми командирами. Командование воинских частей в ходе итоговых аттестаций неоднократно отмечало недостаточную психологическую подготовку офицеров запаса к работе с личным составом.

3. *Проблема мотивации.* Для студента второй половины 1980-х гг. военная кафедра часто воспринималась как неизбежная повинность, а не привилегия. Отсрочка от армии была главным стимулом [2].

Педагогические итоги и историческое наследие

Подводя итоги историко-педагогического анализа, отметим явные достижения советской системы военной подготовки студентов.

1. Успешное создание мобилизационного резерва. Система позволила СССР иметь крупнейший в мире резерв офицеров-специалистов (инженеров, связистов, летчиков), готовых к мобилизационному развертыванию в случае новой войны.

2. Унификация знаний и высокий уровень стандартизации подготовки. Выпускник военной кафедры в Ташкенте и Ленинграде знал одни и те же уставы и одинаково владел техникой.

3. Интеграция «наука – армия». В вузах велись серьезные научные разработки по военной тематике (аэродромостроение, радиолокация), что способствовало развитию оборонной промышленности.

Вместе с тем существовали и недостатки.

1. Формализм: в 1980-е гг. из-за перенасыщенности программ некоторые дисциплины (например, Политэкономика войн или Военная педагогика) изучались поверхностно.

2. Недостаточно развитая материально-техническая база: учебные классы и кабинеты часто были недостаточно оборудованы техниче-

скими средствами обучения (документальными кинофильмами, макетами, схемами, стендами). Многие наглядные пособия были примитивными и носили лишь схематический характер [2; 4].

3. Проблемы с организацией учебных сборов. В некоторых случаях учебные сборы студентов вузов не были в полной мере обеспечены необходимым вооружением, имуществом, боевой, дорожной техникой и автотранспортом.

Заключение

Возникнув как реакция на вызовы Великой Отечественной войны, военная подготовка эволюционировала от краткосрочных курсов до полноценной двух-трехгодичной программы

подготовки офицеров запаса. Основной педагогический парадокс системы заключался в том, что, оставаясь частью гражданского образования, она стремилась воспроизвести армейскую среду. Это давало отличные дисциплинарные и технические результаты, но порождало внутренние конфликты (между свободой студента и жесткостью уставов).

Распад СССР в 1991 г. привел к ликвидации многих военных кафедр в бывших союзных республиках и реформе оставшихся в России. Однако педагогические наработки советского периода – методика ускоренной подготовки специалистов, интеграция технических знаний с военным делом – остаются востребованными и сегодня, в эпоху модернизации системы военного образования в Российской Федерации.

Литература

1. Бочаров, В.С. О роли правительства и федеральных органов исполнительной власти в организации военной подготовки и подготовке офицеров запаса из числа студентов гражданских вузов / В.С. Бочаров // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2006. – № 6. – С. 202–206 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-rol-i-pravitelstva-i-federalnyh-organov-ispolnitelnoy-vlasti-v-organizatsii-voennoy-podgotovki-i-podgotovke-ofitserov-zapasa-iz-chisla/viewer>. – EDN: JKGUNB.
2. Рыбаков, А.М. Подготовка офицерских кадров в высших военно-политических училищах вооруженных сил СССР (1960–1970-е гг.) : дис. ... канд. ист. наук / А.М. Рыбаков. – Чебоксары, 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://old.chuvsu.ru/images/stories/dissovety/212.301.05/RAM/Rybakov_AM-diss.pdf.
3. Добровольский, В.С. Возникновение, эволюция и современное состояние системы военной подготовки студентов : монография / В.С. Добровольский. – М., 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel2oskvalS097.pdf>.
4. Ростов, Н.Д. Подготовка офицеров запаса в гражданских высших учебных заведениях Сибири в годы Великой Отечественной войны / Н.Д. Ростов // Известия Алтайского государственного университета. – 2008. – № 4-3(60). – С. 224–229 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/podgotovka-ofitserov-zapasa-v-grazhdanskih-vyshshih-uchebnyh-zavedeniyah-sibiri-v-gody-velikoy-otechestvennoy-voyny>.
5. Добровольский, В.С. Военная подготовка в гражданских вузах в СССР в 1924–1944 гг. / В.С. Добровольский, Г.Г. Шпаков // Военно-исторический журнал. – 2020. – № 3. – С. 40–45 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/voennaya-podgotovka-v-grazhdanskih-vuzah-v-sssr-v-1924-1944-gg>.

References

1. Bocharov, V.S. O roli pravitel'stva i federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti v organizacii voennoj podgotovki i podgotovke oficerov zapasa iz chisla studentov grazhdanskih vuzov / V.S. Bocharov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik. – 2006. – № 6. – S. 202–206 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-rol-i-pravitelstva-i-federalnyh-organov-ispolnitelnoy-vlasti-v-organizatsii-voennoy-podgotovki-i-podgotovke-ofitserov-zapasa-iz-chisla/viewer>. – EDN: JKGUNB.
2. Rybakov, A.M. Podgotovka oficerskih kadrov v vysshih voenno-politicheskikh uchilishchah vooruzhennyh sil SSSR (1960–1970-e gg.) : dis. ... kand. ist. nauk / A.M. Rybakov. – CHEBOKSARY, 2019

[Electronic resource]. – Access mode : https://old.chuvsu.ru/images/stories/dissovety/212.301.05/RAM/Rybakov_AM-disser.pdf.

3. Dobrovol'skij, V.S. Vozniknovenie, evolyuciya i sovremennoe sostoyanie sistemy voennoj podgotovki studentov : monografiya / V.S. Dobrovol'skij. – M., 2020 [Electronic resource]. – Access mode : <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel2oskva1S097.pdf>.

4. Rostov, N.D. Podgotovka oficerov zapasa v grazhdanskih vysshih uchebnyh zavedeniyah Sibiri v gody Velikoj Otechestvennoj vojny / N.D. Rostov // Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2008. – № 4-3(60). – S. 224–229 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/podgotovka-ofitserov-zapasa-v-grazhdanskih-vysshih-uchebnyh-zavedeniyah-sibiri-v-gody-velikoy-otechestvennoy-voyny>.

5. Dobrovol'skij, V.S. Voennaya podgotovka v grazhdanskih vuzah v SSSR v 1924–1944 gg. / V.S. Dobrovol'skij, G.G. SHpakov // Voенно-istoricheskij zhurnal. – 2020. – № 3. – S. 40–45 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/voennaya-podgotovka-v-grazhdanskih-vuzah-v-sssr-v-1924-1944-gg>.

© Д.В. Чалкин, И.П. Кан, 2026

О ПОДХОДАХ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ В АВИАЦИОННОМ ВУЗЕ

А.В. ШАВЛОВ, М.Н. БУБИН, С.В. ХОХОТВА

*Филиал ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Челябинск*

Ключевые слова и фразы: обучение; методы обучения; классификация методов обучения; дидактика; образование; авиация.

Аннотация: В статье рассматриваются различные подходы к методам обучения на примере работы кафедр авиационного военного вуза. Цель исследования заключалась в разработке основных подходов к классификации методов обучения, как результатов, имеющих значение для педагогики вузов системы воздушно-космических сил. Задачи исследования заключались в оценке существующих подходов к методам обучения и их систематизации в условиях Филиала военного-учебного научного центра. Применяемые методы в исследовании: аналитический, сравнительный, поисковый. Внедрение предлагаемых основных подходов к классификации методов обучения направлено на формирование личности офицера боевого управления.

В имеющейся научно-методической литературе проблема методов обучения пока еще не получила систематического освещения, до настоящего времени не существует четкого определения самого понятия метода обучения, классификации и даже перечня методов, не выяснено их соотношение друг с другом и т.д. Это характерно для дидактики как общеобразовательной, так и высшей школы. В педагогической практике чаще всего бытует стихийный, интуитивный подход к методам обучения. Не являются в этом смысле исключением и вузы системы Министерства обороны Российской Федерации.

Анализ работы кафедр Филиала академии ВВС в городе Челябинске показывает, что при обсуждении методики чтения лекций, проведения семинарских занятий, написании методических разработок, рекомендаций, пособий внимание преподавателей сосредоточивается на содержании учебного материала и его логике [1]. Что же касается методов обучения, то они, как правило, остаются вне поля зрения участников таких обсуждений. Определенные шаги в исследовании данного вопроса были все же предприняты предметно-методической комиссией. Некоторые полученные в ходе ее дея-

тельности результаты были положены в основу предлагаемой статьи.

Применяемые в условиях специализированного вуза методы обучения, то есть способы совместной деятельности преподавателя и курсанта, направленные на решение задач по формированию будущих авиационных специалистов, предполагают наличие: поставленной цели; соответствующей деятельности (системы действий); необходимых средств; процесса изменения объекта; достигнутой цели.

При этом не следует забывать, что обучающийся, который служит объектом воздействия преподавателя, является одновременно и субъектом, т.е. личностью, от воли и интересов которого зависит его деятельность в соответствии с воздействием преподавателя.

Общий метод обучения схематически можно изобразить следующим образом, взяв за основу схему М.Н. Скаткина и М.А. Данилова (рис. 1).

Применительно к определенному занятию метод обучения может быть подразделен на целый ряд структурных приемов или элементов, операций мышления, информации в процессе усвоения знаний, формирования умений и практических навыков. К примеру, метод устно-

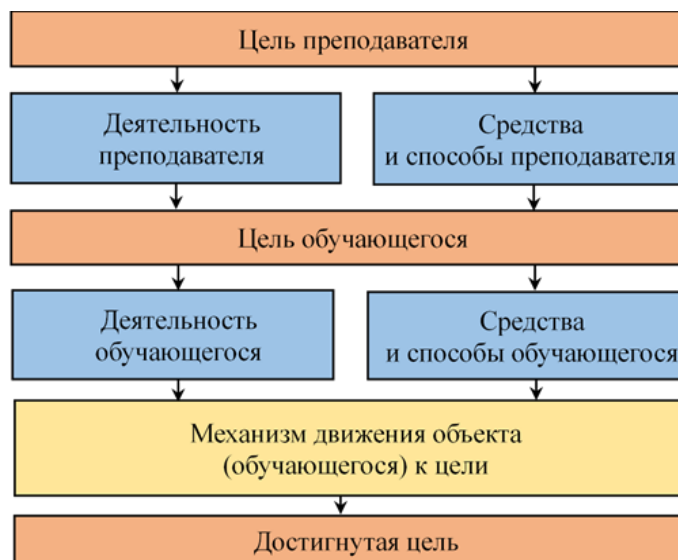


Рис. 1. Схема общего метода обучения

го изложения материала состоит из таких приемов, как постановка риторических вопросов, повторы ранее высказанных положений, приведение иллюстраций, использование схем, таблиц, формулирование выводов, обобщающих изложенный материал.

Используя тот или иной прием, нельзя решить самостоятельную учебную задачу – он имеет значение лишь постольку, поскольку дает возможность приблизиться к реализации решаемой определенным методом задачи. Аналогичные приемы обучения используются в разных методах, и, наоборот, один и тот же метод у разных преподавателей включает различные приемы.

В стремлении упорядочить все многообразие используемых на практике методов предприняты попытки систематизации их по различным основаниям. До последнего времени ведущее место занимала классификация с учетом источников получения знаний обучающимися, в соответствии с которой все методы обучения подразделялись на три группы: словесные (лекция – беседа и рассказ, работа с литературой и т.д.); наглядные (демонстрация изучаемого материала и его иллюстрация); практические (упражнения, практическая работа и т.д.).

Близка к названной и классификация с учетом характера решаемых дидактических задач, которая включает: методы, связанные с приобретением новых знаний, с закреплением зна-

ний, формированием умений и практических навыков, проверкой и оценкой знаний.

Однако обе эти классификации не излагают внутренние процессы, которые содержат сущность метода. При изучении метода впервые центр внимания был перенесен на внутреннюю его составляющую И.Я. Лернером [2]. Такой подход позволил выделить следующие методы обучения:

- а) объяснительно-иллюстративный;
- б) репродуктивный;
- в) проблемный;
- г) частично-поисковый;
- д) исследовательский.

Однако установление групп методов только исходя из их внутренней сущности (репродуктивно-подражательной или продуктивной), без учета их внешнего проявления, не дает возможности охарактеризовать способы управления познавательным процессом в обучении.

В конце XX в. была предпринята попытка предложить бинарные классификации, подразделив все методы на две группы в зависимости от субъекта деятельности.

В результате проведенных исследований, ряд авторов предложили рассматривать в качестве приемов обучения анализ и синтез, индукцию и дедукцию, сравнение и т.д., а также составили соответствующие номенклатуры методов. Параллельно исследовались методы мотивации и стимулирования учебной познавательной деятельности.

В процессе дискуссий по проблеме совершенствования приемов и методов обучения большинство дидактов разделяет концепцию многомерности метода. Это позволило объединить различные его характеристики, определить, какие из них являются системообразующими. Так, выделив признаки источника знаний, можно учесть закономерности восприятия информации человеком, выделив логическую основу метода, – учесть закономерности обработки этой информации человеком, выделив уровни проблемности, – учесть задачи воспитания самостоятельной, активно мыслящей личности.

Диалектическая взаимосвязь существенных сторон метода обучения дает качественно новое представление о нем. Математическим аналогом этого представления, составными частями которого являются источники знаний, уровни познавательной самостоятельности обучающихся и выполняемые логические приемы учебной деятельности, служит вектор в трехмерном пространстве.

Перечисленные основные подходы к предлагаемой классификации методов обучения следует рассматривать как результаты, имеющие значение для педагогики не только общеобразовательной, но и высшей школы, в том числе и вузов системы воздушно-космических сил.

Понимая обучение в условиях Филиала военно-учебного научного центра военно-воздушных сил как целенаправленный процесс формирования личности офицера боевого управления, ориентированный на выполнение обучающимся под руководством преподавателя определенных действий, в результате которых обучающийся приобретает комплекс профессиональных знаний, умений и навыков, формирует военно-политическую убежденность, нравственную чистоту и принципиальность, вырабатывает волю и целеустремленность, можно выделить три группы методов, активно применяемых в высшей военной школе.

1. Решающие задачу первичного восприятия учебного материала (восприятие и усвоение знаний, передача, формирование убеждений) – информационно-развивающие и поисковые методы.

2. Способствующие не только закреплению, но и совершенствованию знаний, выработке профессиональных умений и навыков – репродуктивные и воспроизводящие творческие методы.

3. Позволяющие учесть усвоенные обучаемым теоретические знания, приобретенные умения и навыки, сформированную идейную убежденность – методы промежуточного, рубежного и итогового контроля.

Среди информационно-развивающих методов главная роль на всех кафедрах отводится устному изложению преподавателями учебного материала [3]. С помощью этого метода слушателям сообщается определенная сумма знаний, раскрывается основное содержание курса, характеризуется проблема как уже решенная, так и та, которую науке предстоит еще решить. Применяемый в лекциях, на семинарах, во время консультаций этот метод в решающей степени определяет мотивацию учения, его организацию, последовательность протекания, направленность и выбор средств учения.

Характер изучения материала при устном изложении может быть описательно-повествовательным или проблемным. Последний, в свою очередь, можно подразделить на два типа: во-первых, когда преподаватель, создав проблемную ситуацию, сам развернуто демонстрирует все звенья ее решения (анализирует фактический материал, знакомит с ходом поиска решения); во-вторых, когда к участию в решении проблемных вопросов привлекаются сами слушатели. В этих случаях осуществляется ориентация обучаемых на творческий подход к усвоению учебного материала, на развитие и активизацию познавательной деятельности, что способствует выработке диалектического типа мышления, побуждает к самостоятельному решению вопросов.

Наряду с рассмотренным методом довольно значительное распространение на кафедрах получил также метод инструктажа, позволяющий вооружить обучающихся оптимальными методами учения (освоения первоисточников, подготовки к зачетам и экзаменам и т.п.).

Эвристические методы связаны в основном с проблемным обучением. Эти методы служат решению познавательных задач. В данном случае обучающемуся не дается готовая информация, но он включается в поисковую деятельность в ходе семинара, теоретической конференции, выполнении упражнений, лабораторных работ, исследовательских заданий и т.д.

Методами второй группы обеспечивается закрепление и совершенствование полученных знаний, умений и практических навыков. Репродуктивные методы включают устные докла-

ды и письменные рефераты с последующим их обсуждением курсантами, работу с обучающимися информационными программами, собеседования, упражнения, предметные викторины и олимпиады, комплексные аудиторно-групповые упражнения, отработку навыков оформления оперативно-служебных документов.

Воспроизводящие творческие методы требуют применения знаний в измененных условиях, на практике, в творческой деятельности. К ним можно отнести военные игры, оперативно-тактические учения с отработкой разнообразных, максимально приближенных к реальности ситуаций и с выходом на местность, выполнение практических мероприятий, методы проведения практики и стажировки курсантов.

Третья группа методов обеспечивает кон-

троль за ходом учебно-воспитательной деятельности и способствует: во-первых, получению и анализу данных, характеризующих состояние усвоения обучающимися знаний, овладения умениями и навыками на различных стадиях учебного процесса; во-вторых, использованию этих данных для управления дальнейшим обучением [4]. Выбор того или иного метода зависит от многих факторов педагогического мастерства преподавателя; сложившихся традиций преподавания на кафедре; психологических закономерностей учения; индивидуальных особенностей обучаемых и многого другого.

Поэтому при выборе методов невозможно отдавать предпочтение одним в ущерб другим, при этом необходимо четко определять место каждого из них в системе образования.

Литература

1. Бубин, М.Н. Информационная эффективность обучения курсантов авиационного вуза / М.Н. Бубин, А.В. Шавлов, О.В. Панкратов // Глобальный научный потенциал. – СПб. : НТФ РИМ. – 2023. – № 11(152). – С. 206–210. – EDN: TDRXQX.
2. Лернер, И.Я. О методах обучения / И.Я. Лернер, М.Н. Скаткин // Советская педагогика. – 1965. – № 3. – С. 118–119.
3. Никитина, Н.Н. Основы профессионально-педагогической деятельности / Н.Н. Никитина, О.М. Железнякова и др. – М. : Мастерство, 2002. – 282 с. – ISBN: 5-294-00107-1. – EDN: SXPWYH.
4. Панина, Т.С. Современные способы активизации обучения / Т.С. Панина, Л.Н. Вавилова; под ред. Т.С. Паниной. – М. : Академия, 2006. – 176 с.

References

1. Bubin, M.N. Informacionnaya effektivnost' obucheniya kursantov aviacionnogo vuza / M.N. Bubin, A.V. SHavlov, O.V. Pankratov // Global'nyj nauchnyj potencial. – SPb. : NTF RIM. – 2023. – № 11(152). – S. 206–210. – EDN: TDRXQX.
2. Lerner, I.YA. O metodah obucheniya / I.YA. Lerner, M.N. Skatkin // Sovetskaya pedagogika. – 1965. – № 3. – S. 118–119.
3. Nikitina, N.N. Osnovy professional'no-pedagogicheskoy deyatel'nosti / N.N. Nikitina, O.M. ZHeleznyakova i dr. – M. : Masterstvo, 2002. – 282 s. – ISBN: 5-294-00107-1. – EDN: SXPWYH.
4. Panina, T.S. Sovremennye sposoby aktivizacii obucheniya / T.S. Panina, L.N. Vavilova; pod red. T.S. Paninoj. – M. : Akademiya, 2006. – 176 s.

© А.В. Шавлов, М.Н. Бубин, С.В. Хохотва, 2026

АННОТАЦИИ

Abstracts

Overview of Modern Methods for Transcribing Single-Instrument Audio Tracks

R.N. Vinokurov, M.A. Galchich

Moscow State Technological University "Stankin", Moscow

Keywords and phrases: digital signal processing; transcription; music; audio; notes; non-negative matrix factorization; approximation; neural networks; multi-pitch estimation; onset detection; note tracking; constant-Q transform; short-time Fourier transform.

Abstract: The aim of this article is to examine modern approaches and trends in the transcription of single-instrument audio tracks. Non-negative matrix factorization and neural networks are presented as the most relevant approaches to music transcription. Problematic issues in music transcription and the main subtasks of music transcription are considered. Particular emphasis is placed on the problem of detecting note onsets, the integration of which as a separate block of the algorithm based on non-negative matrix factorization can significantly improve the obtained results. The problem of choosing the input data representation for the neural network, the architecture used, and neural network training are studied. Several existing datasets that can be used to train music transcription models are analyzed, as well as the most popular cost function in the subject area – binary cross-entropy. The material reviewed may be useful for researchers, machine learning engineers, and music enthusiasts.

Modification of the Stackelberg Model with Demand Uncertainty and Differentiated Costs

A.S. Golubeva, M.A. Nurmukhamadov, V.I. Mishkin, A.V. Cherny

ITMO National Research University, St. Petersburg

Keywords and phrases: Stackelberg equilibrium; differentiated unit generation costs; demand uncertainty; production capacity constraints; risk aversion.

Abstract: The paper considers a Stackelberg competition model for electricity producer-suppliers in an electricity market with one leader and multiple followers, differentiated unit generation costs, production capacity constraints, and uncertain consumer demand. The aim of the study is to assess how risk aversion among suppliers affects the leader's optimal electricity output. The hypothesis is that higher risk reduces the leader's electricity output and may lead to its withdrawal from production. Based on the concept of Stackelberg equilibrium and constrained optimization analysis, analytical reaction functions of the follower suppliers, the leader's equilibrium output, and a threshold risk-aversion coefficient are derived. Numerical simulations show that stronger risk aversion reduces the leader's planned electricity output, higher demand volatility lowers the risk threshold, and higher expected demand increases the leader's resilience to risk.

Multi-Level Architecture of a Multimodal System for Biomedical Data Analysis and Visualization in Multimedia Exhibition Installations

*E.S. Lukuta, A.O. Aristov, A.L. Lukuta
National Research Technological University MISIS, Moscow*

Keywords and phrases: biomedical data; EEG; PPG; multimodal system; stream synchronization; feature extraction; data visualization; adaptive multimedia environment; feedback loop; system architecture.

Abstract: The article addresses the problem of designing the architecture of a multi-modal system for the analysis, processing and visualization of biomedical data in adaptive multimedia environments. The aim of the study is to develop a multi-level architecture that provides coordinated acquisition of EEG, PPG and event data, their synchronization, preprocessing, feature extraction, assessment of the user functional state and transfer of results to the visualization loop. The study addresses the tasks of identifying functional system levels, describing interfaces between them, formalizing the computational processing pipeline, and defining requirements for stability, latency and reproducibility of analysis. The research hypothesis is that representing a multi-modal installation as a single loop of acquisition, synchronization, features, state estimation, mapping, rendering and feedback makes it possible to transfer one architectural logic across different experimental scenarios. The method is based on system analysis, functional decomposition, formalization of data streams and comparison of architectural requirements with experimental scenarios for processing EEG, PPG and event data. As a result, a multi-level architecture is proposed, including signal acquisition, stream synchronization, preprocessing, feature extraction, functional state assessment, adaptive mapping of features to scene parameters, rendering and observable feedback. The achieved result consists in forming a reproducible architectural scheme applicable to the design of biosignal analysis systems, interactive multimedia installations, VR scenes and experimental platforms for studying the user functional state.

Application of a Brain-Computer Interface for Analyzing the Effectiveness of Emotion Regulation in an Immersive Digital Environment

*E.S. Lukuta, A.O. Aristov, M.S. Pshenichnov, D.S. Gribanov, A.L. Lukuta
National Research Technological University MISIS, Moscow*

Keywords and phrases: Neiry; brain-computer interface; immersive digital environment; emotion regulation; breathing protocol; EEG; phase segmentation; event markup; attention; relaxation.

Abstract: The paper examines the use of a portable brain-computer interface and a computational data-processing pipeline for recording, event synchronization, phase segmentation, and visualization of neurometric data in an experimental emotion-regulation scenario. The aim of the study is to assess the applicability of an immersive digital environment with visual support for the 4–7–8 breathing exercise for analyzing short-term changes in attention and relaxation metrics. The research tasks include developing the experimental scenario, recording brain-computer interface data, marking session phases, calculating descriptive statistics by phase, and comparing neurometric data with participants' subjective assessments. The pilot hypothesis is that performing the breathing exercise in an immersive digital environment is accompanied by directed changes in Attention and Relaxation metrics that can be captured by a reproducible computational pipeline.

The methods include a within-subject pilot experiment with 15 respondents, data recording using the Neiry brain-computer interface and Capsule Data v2 software, event markup of the session, phase segmentation, calculation of descriptive statistics for integral metrics, and comparison with self-assessment data before and after the session. In the computational pipeline, the experimental session is represented as a sequence of configurable phases phase_01–phase_04: initial stage, free interaction stage, active breathing exercise stage, and final stage.

The obtained results show directed changes in the Attention and Relaxation metrics during the

session and are consistent with participants' self-assessment data. The achieved result consists in confirming the applicability of the recording, phase segmentation and visual data analysis pipeline for studying short-term changes in the user functional state in an immersive environment. The study does not assess the clinical effectiveness of the intervention and considers the proposed scenario as an engineering research validation of a computational scheme for processing neurometrics.

Forecasting Server Hardware Degradation Based on Adaptive Ensembling of SARIMA and LSTM Models

K.V. Makarenko, B.S. Dobronets
Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Keywords and phrases: forecasting; server hardware; hardware degradation; time series; operational metrics.

Abstract: The aim of the study is to develop an adaptive hybrid model for forecasting server hardware degradation based on time series of operational telemetry. The research tasks included selecting risk-forming metrics, preprocessing data, building SARIMA and LSTM models, adaptively ensembling them, and evaluating forecast accuracy. The hypothesis was that adaptive combination of SARIMA and LSTM reduces forecasting error by accounting for seasonality and nonlinear time-series dynamics. The study uses time series analysis methods, SARIMA, LSTM, adaptive model weighting, as well as MAE and RMSE metrics. According to the experimental results based on server monitoring data, the ensemble model showed the lowest error for CPU load and system temperature over the 30-day horizon, confirming its applicability for assessing equipment condition and failure risk.

Algorithm and Method for Predicting the Hydraulic Resistance Criterion of Liquid Sodium in Heat Exchange Equipment Loops

M.M. Mambwe, V.V. Andreev, H.A.K. Alhazaimah
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

Keywords and phrases: diffusion-bonded heat exchanger; generalization; hydraulic resistance; liquid sodium; logarithmic; prediction; Reynolds number; zigzag microchannels.

Abstract: This article aims to predict the hydraulic resistance of sodium in diffusion-bonded compact stainless-steel heat exchangers to evaluate the efficiency of the SAOT system in BN reactors. The tasks include summarizing data on sodium and lead-bismuth alloy resistance for various circuit geometries, as well as pressure drop and friction factor characteristics in zigzag microchannels. The hypothesis is that comparative analysis of these data enables predictive assessment of sodium hydraulics in diffusion-bonded systems. Methods involve analyzing literature resistance curves, systematic generalization, and cross-comparison of the data. The results provide a validated prediction of sodium resistance and propose predictive frameworks that substantially reduce the need for lengthy, costly experiments in the design of specialized equipment.

Method and Algorithm for Data Processing to Identify the Hydraulic Characteristic Criterion of an Aluminum Heat Exchange Equipment Loop

M.M. Mambwe, V.V. Andreev, H.A.K. Alhazaimah
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

Keywords and phrases: hydraulic resistance coefficient; Reynolds number; Takagi – Sugeno fuzzy method; low-dimensional hydraulic circuits; aluminum heat exchanger; system analysis; hydraulic

characteristic.

Abstract: This article aims to replace the piecewise formulas of Blasius, Altshul, and Shifrinson with a single smooth approximation of the hydraulic friction factor. To achieve this, the following tasks are addressed: developing an approximation using the Takagi – Sugeno fuzzy inference method that eliminates discontinuities when flow regimes change, conducting experiments on an aluminum tubular heat exchanger with axial wire windings in the laboratory of the Department of Nuclear Reactors and Power Plants at Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, and verifying the proposed model. The hypothesis is that the Takagi – Sugeno method provides a smooth weighted interpolation between zone approximations, forming a continuous monotonic curve $\lambda(Re)$. The methods include fuzzy modeling and laboratory experiments over a wide range of mass flow rates. As a result, the proposed Takagi – Sugeno approximation is experimentally validated and shows advantages over classical piecewise formulas.

Model of Dynamic Attack Surface at the Network Level for Remote Access Systems

A.L. Petryankin, Ya.S. Grodzensky

National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow

Keywords and phrases: attack surface; dynamic model; network layer; remote access; zero trust network access; session-based access; security metric.

Abstract: Classical attack surface models treat exposed resources as a static property of a fixed configuration, which is insufficient for network-level remote access systems where reachable nodes, services, and channels evolve under access policies, connection states, and contextual attributes – a limitation especially acute in Zero Trust Network Access (ZTNA). The goal of this work is to develop a formal dynamic model of network-level attack surface. The tasks addressed include analysis of static model limitations, formalization of dynamic attack surface $AS(t)$ through the time-varying set K_t of permitted interactions, construction of a three-component weight function $w(u, s, t)$ following the classical Howard-Pincus-Wing dimensions (privileges, channel, authentication), and derivation of instantaneous, time-averaged, and discrete metric forms. The hypothesis is that network-level attack surface can be formally defined as a dynamic function of the system’s operational state rather than a static resource-graph property, with the weight function enabling quantitative distinction between states of equal interaction count but differing attackability. Methods include set-theoretic modeling, additive decomposition with normalization on qualitative scales, and a computational experiment on a three-state scenario modeling the VPN $\rightarrow$ ZTNA transition. Results show the weighted metric decreasing monotonically ($1.566 \rightarrow 0.866 \rightarrow 0.433$) as protection strengthens, while the base cardinality metric fails to distinguish qualitatively different states; quantitative differentiation between VPN and ZTNA architectures by dynamic attack surface is demonstrated.

LLM-Based Negotiation Process Automation

V.Yu. Skobtsov, S.A. Potapov, A.S. Efremov

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg

Keywords and phrases: LLM; Agentic AI; negotiation; object ontology; event ontology; bounded rationality; augmented rationality.

Abstract: The aim of this study is to develop and implement a multi-agent system (MAS) for automating the negotiation process between a buyer and a seller based on large language models (LLMs), enabling a transition from human “bounded rationality” to “augmented rationality” through the structuring of natural-language requests and the automatic control of predefined constraints. The objectives of the study are to analyze the risks associated with the use of LLMs in negotiations

and methods for mitigating them; to design the architecture of the MAS; to develop an iterative bargaining algorithm that combines the flexibility of LLM-based text generation with the rigor of deterministic checks of transaction parameters; to conduct statistical testing of the system across various scenarios of overlapping interests between the parties; and to justify the use of a hybrid object-event ontology for managing negotiation dynamics. The research hypothesis is that the use of a multi-agent architecture based on LLMs, combined with a hybrid control loop, makes it possible to effectively automate bargaining while ensuring compliance with all strict user-defined constraints and overcoming cognitive biases inherent to humans. The study employs such research methods as multi-agent modeling, artificial intelligence technologies, algorithmic management, and the ontological approach. As a result of the study, a software-algorithmic multi-agent system was developed and implemented. The system supports the full negotiation cycle, from registration to the approval of terms, based on an iterative bargaining algorithm and a “Critic-Agent” system. Testing demonstrated a 100 % success rate in reaching agreements in scenarios with overlapping price ranges, provided that all requirements of the parties were met. In addition, a hybrid approach to knowledge storage was proposed, combining object properties with a dynamic history of events, which increases the transparency of automated negotiations for business applications.

Empirical Evaluation of the Performance of the SKIA and Impeller Rendering Engines in Flutter for Mobile Devices of Different Classes

P.A. Stepanov, D.P. Ushakov, A.V. Kozlov, M.A. Kochemirov
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg

Keywords and phrases: Flutter; Impeller; Skia; rendering; mobile application performance; frame time; cold start; graphics backends.

Abstract: Flutter’s transition from the SKIA engine to Impeller is intended to eliminate shader compilation jank, yet reproducible engine comparisons across device classes are lacking. The object of the study is UI rendering performance in Flutter; the subject is its quantitative characteristics (frame rasterization time, frame predictability, cold start) for the SKIA and Impeller engines across device classes. The aim of the study is to obtain a reproducible empirical evaluation of the rendering performance of SKIA and Impeller and to establish how their relation depends on the workload scenario and device class. The objectives are: to develop a controlled benchmark application with a set of load and problem scenarios; to measure per-frame metrics and cold-start time on devices of different classes under controlled conditions; to perform a statistical comparison of the engines; to relate the observed differences to engine architecture. The research hypothesis is that Impeller’s advantage is concentrated not in the typical frame but in the tail of the frame-time distribution (the worst frame) due to ahead-of-time shader compilation, and that this advantage is not universal but depends on the device class and workload scenario. Methods: a controlled experiment on two Android devices of different classes (with an iPhone 15 Pro on Metal as a descriptive reference), per-frame measurements via FrameTiming, and non-parametric statistics on per-run 99th percentiles (Mann–Whitney test, Cliff’s delta). The results confirm the hypothesis: on the flagship device the medians of the two engines are close, while on a cold pass SKIA’s worst frame exceeds Impeller’s several-fold; the direction of advantage depends on the device and scenario (in steady-state scenarios Impeller is more often faster on the flagship GPU, SKIA on the mid-range GPU); Impeller-OpenGL ES starts 3.6–4.3 times slower, since the cost is moved from run time to launch. The cases where SKIA prevails show the price of the unavoidable transition for the OpenGL ES backend and mid-range devices.

Информационные технологии проектирования подвижного состава метрополитена

Сяо Шусинь, Н.Р. Туркина

ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
имени Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: цифровое моделирование; метод конечных элементов; полный жизненный цикл; метрополитенное транспортное средство; эксплуатация и техническое обслуживание; ходовая часть; оптимизация конструкции; технологическое оснащение.

Аннотация: В работе информационные технологии применяются при проектировании метрополитенных транспортных средств на протяжении всего жизненного цикла для определения их практической инженерной ценности. Основными целями и задачами являются оптимизация конструкции транспортных средств, а также повышение безопасности и удобства их технического обслуживания. В данной статье выдвигается исследовательская гипотеза о том, что методы цифрового проектирования могут эффективно моделировать условия эксплуатации транспортных средств. Сочетание цифрового моделирования и анализа методом конечных элементов позволяет исследовать причины вибрации и шума, оптимизировать конструкцию колесной пары и затем добиться снижения вибрации и шума с помощью вычислительного проектирования. На основе информационных принципов проектирования разработано специальное технологическое оснащение и вспомогательное оборудование. Все проектные решения прошли проверку на прочность, соответствуют действующим отраслевым стандартам, а полученные результаты могут служить практической основой для повышения общей эффективности проектирования, производства, эксплуатации и технического обслуживания метрополитенных транспортных средств.

Intelligent System for Distributed Acoustic Diagnostics of Road Vehicles Based on Integral Assessment of Acoustic Features

A.M. Turyansky, A.I. Soldatov

Surgut State University, Surgut;
Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Keywords and phrases: acoustic diagnostics; automotive noise; MFCC; machine learning; integrated feature assessment.

Abstract: The objective of this study is to develop an intelligent system for the distributed acoustic diagnostics of vehicles, based on an integrated assessment of acoustic features. The paper presents an approach to combining temporal, spectral, and time-frequency features to enhance the robustness of vehicle noise classification in the presence of heterogeneous operational data. The research hypothesis posits that an integrated feature representation yields more robust classification results compared to the use of individual feature groups. The study employed digital signal processing techniques, Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) extraction, as well as machine learning models including Logistic Regression, SVM, and Random Forest. An experimental investigation was conducted using a dataset comprising 152 WAV recordings of vehicle noise. The obtained results demonstrate the potential of the integrated feature representation for vehicle acoustic diagnostics tasks and confirm its applicability within intelligent diagnostic systems.

Point Cloud Processing Algorithms and Systems Analysis of Their Reconstruction into Digital Building Information Model Elements

*D.A. Khusniev, O.V. Voronkova
National Research University MISIS, Moscow;
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg*

Keywords and phrases: point cloud; laser scanning; Scan-to-BIM; segmentation; RANSAC; deep learning; digital building information model; IFC; systems analysis.

Abstract: The aim of the study is to conduct a systems analysis of point cloud processing algorithms and formalize the process of their reconstruction into building information model (BIM) elements. The objectives include systematizing the Scan-to-BIM workflow stages, comparing classical and neural network approaches, and identifying factors that affect reconstruction accuracy. The research hypothesis posits that a hybrid approach combining mathematical algorithms (RANSAC) and deep learning (PointNet++) will significantly improve the automation and accuracy of BIM element reconstruction. The research methods are based on systems analysis, spatial modeling, and machine learning, with performance evaluated using geometric accuracy (RMSE) and classification completeness metrics. Achieved results: a generalized hybrid processing workflow was developed, enabling the automated reconstruction of up to 85–95 % of primary structures at LOD 300–350, which substantially reduces manual modeling efforts.

Development of Algorithms for Multi-Criteria Optimization of Geometric Parameters of Load-Bearing Elements in Building Information Models

*D.A. Khusniev, O.V. Voronkova
National Research University MISIS, Moscow;
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg*

Keywords and phrases: systems analysis; information modeling; multi-criteria optimization; algorithm; mathematical model; load-bearing element; modified particle swarm optimization method; metal framework; automation; design; digital twin; objective function; parameterization.

Abstract: The study aims to automate the design of structural systems within a Building Information Modeling (BIM) environment to reduce material consumption while maintaining structural stiffness. To achieve this, it was necessary to formalize the mathematical model of a spatial framework, establish objective functions and regulatory constraints, and implement an algorithmic software module. The research is based on the hypothesis that integrating heuristic global optimization methods directly into the BIM environment eliminates engineer subjectivity and efficiently identifies optimal structural cross-sections. The methodological framework incorporates systems analysis (representing the framework as a spatial graph), the finite element method for stress-strain analysis, and a modified particle swarm optimization (PSO) algorithm. As a result, an optimization algorithm was developed and validated on a digital model of an industrial metal framework. The implementation of the proposed solution automated section selection and reduced the total structural mass by an average of 12.3 % while maintaining full compliance with building standards.

System Analysis and Algorithmization of Processes for the Automated Synthesis of Digital Information Models of Metal Building Frameworks

*D.A. Khusniev, O.V. Voronkova
National Research University MISIS, Moscow;
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg*

Keywords and phrases: system analysis in the design of metal frames; digital information modeling;

BIM platform; software package; matrix of system constraints; automated synthesis of models; metal frames.

Abstract: The purpose of the study is to improve the efficiency of the automated synthesis of digital information models (**DIM**) of metal building frameworks. To achieve this, an analytical model is developed to streamline the relationships between key design factors. The research tasks include the decomposition of the information modeling process for steel structures and the identification of critical parameters for generative design. Based on these data, a system of boundary conditions is formed for the logic of CAD software. The research hypothesis suggests that integrating the structured “Matrix of system constraints” into the algorithms of BIM platforms will minimize calculation errors. This approach will provide software-driven reduction in metal consumption while maintaining the normative reliability of structures. The research methods are based on the theory of system analysis of complex technogenic systems and the algorithmization of design procedures. The methodology of structural-parametric synthesis based on constraint satisfaction is also applied. Achieved results: the “Matrix of system constraints” was developed, combining eight basic factors of automated design into a single system. It is proved that its integration into Russian software packages optimizes technological parameters and increases the technical and economic efficiency of constructed facilities.

System Analysis and Assessment of Risk Factors in the Coordination of Interdisciplinary Projects Within a Unified Information Space

D.A. Khusniev, O.V. Voronkova
National Research University MISIS, Moscow;
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg

Keywords and phrases: systems analysis; project management; risk assessment; unified information space; common data environment; interdisciplinary interaction; sociotechnical system; criticality index; information security; risk factor.

Abstract: The goal of the study is to develop a methodology for systems analysis and quantitative risk assessment of interdisciplinary coordination within a unified information space (**UIS**). To achieve this, the tasks included formalizing the sociotechnical structure of the UIS, mathematically accounting for threat concealment, and ranking project vulnerabilities. The research hypothesis posits that the highest criticality stems not from infrastructure failures, but from hidden information and process risks, requiring the integration of a vulnerability coefficient into the assessment model. Methods employed include systems analysis, graph-analytic modeling of sociotechnical systems, and calculation of a composite criticality index (\$CRIS\$). As a result, a mathematical framework and UIS model were developed; validation on a real estate project confirmed the hypothesis, revealing the dominance of data synchronization risks and establishing a foundation for proactive Common Data Environment (**CDE**) management.

Impact of Assigning a Role to LLM Text Generating Agent on the Text Anomaly Detection Performance

D.N. Shmyglov, V.A. Sudakov
Scientific Laboratory “Applied Modeling” of Plekhanov Russian University of Economics;
Federal Research Center M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics
of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Keywords and phrases: text embeddings; NLP; large language models; anomaly detection; machine learning.

Abstract: The goal of the proposed research is to systematize the knowledge about the current state of the field of evaluating the influence of LLM role assigning for generating texts and subsequent

verification of acquired results based on text anomaly detection problem. To accomplish this, the latest research in the field was analyzed, and then the experiment consisting of assigning the role to LLM for finding the anomalies among machine learning scientific articles' annotations was conducted. According to acquired results, there is a confirmation of dependency between assigned role and the style and accuracy of generated texts, but the degree of influence is tied to the type of problem, the detalization degree of the role and the architecture of the model.

Algorithmic Removal of Boundary Truncating Artifacts in 3D Sliding Window Inference for Brain Segmentation

K.A. Apana, Yu.A. Shichkina

St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg

Keywords and phrases: 3D segmentation; sliding window inference; medical imaging; deep learning; tensor manipulation; edge artifacts.

Abstract: Processing high-dimensional volumetric medical data (e.g., 3D MRI) using convolutional neural networks (CNNs) is fundamentally limited by the GPU memory capacity. Consequently, patch-based inference using a sliding window method is widely used, but standard patch extraction with a given stride produces boundary clipping artifacts, where peripheral regions are lost if the tensor dimensions are not evenly divisible by the stride. In this paper, we formalize the boundary clipping problem and propose a deterministic, computationally efficient solution based on dynamic asymmetric padding and ensemble reconstruction. The method is integrated into a specialized 3D U-Net-based pipeline for dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) segmentation on a pilot dataset (N = 10) and guarantees full volume coverage. The proposed approach eliminates edge artifacts and improves the Dice similarity coefficient (DSC) by approximately 0.05–0.12, adding negligible overhead to the ~35-second inference pipeline. Results: This system represents a mathematically robust and ready-to-deploy solution for deep learning on memory-constrained medical systems.

Performance Analysis of Structural Methods of Source Code Representation for Large Language Models

V.S. Isaev, P.D. Drobintsev

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg

Keywords and phrases: large language models; LLM; abstract syntax tree; AST; tokenization; BPE; software engineering; CI/CD; semantic similarity.

Abstract: The objective of the study is to quantitatively evaluate the effectiveness of structural formats for representing source code when integrating large language models (LLM) into continuous integration pipelines. The study is based on the hypothesis of the feasibility of source code preprocessing: it is assumed that abstracting the text to the level of an abstract syntax tree (AST), followed by the removal of nodes that do not affect semantics (decorative comments, formatting elements), and serializing the graph into JSON format will reduce the input data volume for large language models.

To empirically test this hypothesis, a comparative analysis of the effectiveness of textual and structural code representations was conducted. Methodology: A comparative analysis of token consumption and quality metrics (ROUGE-L, cosine closeness) was conducted when feeding the model with a textual representation of the code (raw code) and an abstract syntax tree (AST) serialized in JSON format. The sample consisted of 500 functions from industry standard repositories (FastAPI, SQLAlchemy, Pydantic, Starlette). Results: it was found that using the JSON representation of AST leads to an increase in the size of the input sequence by 63.9 % (from 165.78 to 271.81 tokens) due to the specifics of Byte-Pair Encoding (BPE) algorithms. Conclusions: Direct serialization of AST to JSON

is recognized as ineffective for prompt engineering tasks. Practical significance: an algorithm for context optimization based on AST filtering followed by reverse translation (unparsing) is proposed, minimizing the computational costs of automated Code Review systems.

Observation Vector Design Methodology for Locomotion Control Systems of Walking Robots Based on Reinforcement Learning

*D.Yu. Krivonogov, I.A. Chistyakov, D.V. Kalitin
National Research University MISIS, Moscow*

Keywords and phrases: reinforcement learning; locomotion; observation vector; optimal estimation; systematic bias; domain randomization; Sim2Real.

Abstract: The article discusses the problem of designing an observation vector for locomotion control policies for walking robots trained by Reinforcement Learning (RL) methods. The dynamic component of the gap between simulation and reality (Sim2Real) – randomization of masses, friction, and drive parameters – has been widely studied in the literature, while the composition and statistical properties of the observation channel are set heuristically in practice. At the same time, the observation vector is the only source of state information for the trained controller, and its incorrect design generates latent transfer defects that are not detected during validation in the simulator. The purpose of the work is to systematize the principles of designing the observation vector in terms of the theory of automatic control and the theory of optimal estimation. The research objectives included the formalization of observation as a distorted representation of the state of a partially observed Markov process, the representation of a trained policy as a combined observer-regulator, the formulation of criteria for selecting features, the analysis of canonical groups of observations (proprioception, exteroception, commands), as well as the analysis of a statistical model of sensory channel distortions with the separation of random error and systematic bias. Methods: theoretical analysis of the observation model based on the optimal estimation apparatus, supported by a numerical illustration of the limiting properties of time averaging. Results: three criteria for the selection of features are formulated (physical measurability, invariance to the gap between simulation and reality, information sufficiency); the application of the projection of the gravity vector as a representation of orientation without singularities is substantiated. It is shown that the random error is suppressed by time averaging with an error variance decreasing in proportion to the length of the history window, whereas the systematic bias is not eliminated by averaging and requires explicit randomization per episode, which translates the task of estimating the state into the task of jointly estimating the state and parameter. A set of practical recommendations on normalization, suppression of information shunts and use of the observation history is formulated.

Algorithmic Selection and Combination of UI Patterns for Industrial Web Interfaces Based on Decision Trees and Ontological Modeling

*A.V. Firsov, I.M. Chikunov, P.E. Karshakov
A.N. Kosygin State University of Russia (Technology. Design. Art), Moscow*

Keywords and phrases: algorithmic selection of UI patterns; decision trees; ontological modeling; industrial enterprise web interface; automated website generation; pattern compatibility; corporate website.

Abstract: The article discusses the problem of design automation of web interfaces of industrial enterprises. The purpose of the research is to develop an algorithmic method for selecting and combining UI patterns for industrial enterprises' web interfaces. To achieve this goal, the following tasks are being solved: formalizing the domain in the form of an ontological model, building a decision tree for selecting patterns and creating an algorithm for their compatible combination. The hypothesis of the study is that

the use of decision trees and ontological modeling makes it possible to automate the selection of UI patterns without involving an expert in interfaces for typical industrial sites. Methods of ontological modeling, decision trees, pattern compatibility analysis, and prototyping were used in the work. An original algorithm for selecting and combining UI patterns based on decision trees and an ontological domain model is proposed. The architecture of the automated website generation tool is described, which includes a template system, modular component organization, and parametric page generation mechanisms. The results of the experimental verification are presented, confirming the correctness of the algorithmic choice of interface configurations, the stability of the prototype and the reduction of labor costs for development. As a result, an original algorithm for selecting and combining UI patterns was obtained, the architecture of the automated website generation tool was developed, and experimental verification confirmed the correctness of the algorithm, the stability of the prototype, and a reduction in development labor.

Improving the Robustness of RL Manipulation Policies Through Domain Randomization

I.A. Chistyakov¹, D.Y. Krivonogov¹, S.A. Vorotnikov²

¹ National Research University MISIS;

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keywords and phrases: reinforcement learning; manipulation; domain randomization; simulation; proximal policy optimization; Isaac Lab; Sim2Real.

Abstract: This article addresses the problem of robustness in manipulator control policies based on reinforcement learning (RL) when transferring policies from idealized simulators to real physical environments. Unlike deterministic simulators, where objects have fixed properties and kinematics operate without errors, real conditions are characterized by variability in visual features, positioning inaccuracies, and stochastic distortions in actuators. Neural network policies trained on “sterile” data show dramatic degradation when confronted with real conditions. The goal of the work is to systematically study the influence of combined domain randomization (visual, physical, and kinematic) on the RL learning process and to prove its effectiveness in increasing robustness without complicating the network architecture. Methods: an approach is proposed for the stochastic variation of environment parameters at each reset step of the training episode. The experiments were conducted in procedurally generated environments of NVIDIA Isaac Lab on the UR5 platform using the proximal policy optimization (PPO) algorithm. The results showed that a balanced combination of all types of randomization makes it possible to maintain a grasp Success Rate of 93 % in new environment configurations, while the baseline policy, trained without randomization, degrades to 78 %.

Mathematical Modeling of Ultrasound Monitoring of Long Bone Fracture Healing and Justification of Transducer Parameters

K.O. Magomedrasulov¹, M.A. Semedov¹, D.A. Magomedov¹, M.R. Mirzemagomedov²

¹ Dagestan State Technical University;

² Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala

Keywords and phrases: ultrasound; fracture; long bones; mathematical modeling; quantitative ultrasound; axial transmission; guided waves; transducer; bone regeneration.

Abstract: The paper presents a model-oriented approach to ultrasound monitoring of long bone fracture healing. The study is relevant because repeated and safe assessment of reparative bone regeneration is clinically needed, whereas radiography and computed tomography are limited by ionizing radiation and insufficient sensitivity to early changes in regenerate mechanical properties. The aim of the study was to develop a mathematical model of ultrasound wave propagation in the “soft tissues – long bone – fracture gap – regenerate” system and, on this basis, to justify rational transducer parameters

for noninvasive monitoring of fracture consolidation. The objectives were to construct a multilayer model accounting for acoustic properties of the media and healing stages; to identify diagnostically significant ultrasound response parameters; to analyze the influence of fracture geometry, soft-tissue thickness, and transducer parameters on signal characteristics; and to substantiate the choice of operating frequency, aperture, measurement base, and inspection scheme according to a maximum diagnostic sensitivity criterion. The hypothesis was that, as the regenerate matures, the temporal, amplitude, energy, and spectral parameters of the ultrasound signal progressively approach those of intact bone and can therefore serve as quantitative markers of fracture-healing stage. The results showed that regenerate maturity, defect geometry, soft-tissue thickness, and transducer parameters systematically affect the ultrasound response, while unilateral axial transmission and guided-wave approaches are the most promising for practical implementation. The findings can be used in the design of ultrasound medical devices for noninvasive monitoring of long bone fracture healing.

Development and Validation of a Threat Model for Internet of Things Networks Using Generative Adversarial Networks to Create and Test Adaptive Attacks

*S.V. Malakhov, S.V. Kim, A.F. Zakirov, K.I. Podoprelov
Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara*

Keywords and phrases: internet of things; generative adversarial networks; threat model; adaptive attacks; intrusion detection; synthetic data; unbalanced samples; simulation modeling.

Abstract: Research objective: to develop and validate a threat model for Internet of Things (IoT) networks based on generative adversarial networks (GANs) to improve detection of rare attack classes. Research tasks: design a conditional GAN architecture with multiple discriminators for synthetic network attack data generation; propose an adaptive attack method using surrogate gradients against a non-differentiable IDS ensemble; conduct NS-3 simulation and validate on public datasets. Hypothesis: applying GANs for training set balancing and adversarial IDS training will significantly improve recall for rare attack classes (U2R, R2L) and increase system robustness against adaptive attacks. Methods: conditional GAN with two specialized discriminators and composite loss function; surrogate-gradient method with MLP approximator ($R^2 = 0.94$); ensemble IDS (Random Forest, XGBoost, LightGBM); NS-3 (v3.35) simulation; validation on UNSW-NB15 and CICIDS2017 datasets. Achieved results: the proposed architecture achieves KL-divergence of 0.124 and synthetic data classification accuracy of 95.8 %; recall for U2R and R2L attack classes improved by 38 % and 27 % respectively; IDS robustness against adaptive attacks increased 2.33-fold.

Аналитическое вычисление индекса Морса для решений уравнения Шредингера с параметром сдвига на графе-звезде

*Н.Г. Рогозина, Ю.В. Елисеева
ФГАОУ ВО «Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва*

Ключевые слова и фразы: квантовые графы; уравнение Шредингера; теоремы о колебаниях; индекс Морса.

Аннотация: В этой статье мы рассматриваем краевые задачи для линейного уравнения Шредингера на некомпактном звездном графе (N полупрямых, соединенных общей вершиной) с условиями Робена и Кирхгофа в центре звезды. Основные приложения связаны с исследованиями спектральной и орбитальной неустойчивости $K + 1$, $K = 0, 1, \dots, [(N - 1)/2]$ основных состояний связанного нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) с любой положительной степенной нелинейностью и граничными условиями Робена. Мы также рассматриваем задачу с граничными условиями Кирхгофа для случая $N = 2l$, когда существует $K > 1$ основных состояний в зависимости от трансляционного параметра. Для обеих задач мы представляем аналитическое вычисление индек-

са Морса (числа отрицательных собственных значений задач) с использованием новой реализации индекса Маслова.

Heat Supply System with a Fluid Coolant, Convector and Radiator for Air Heating

V.M. Fokin¹, S.V. Nesterenko², A.D. Legky¹, D.G. Usadsky¹

¹ *Volgograd State Technical University;*

² *Volgogradnefteproekt LLC, Volgograd*

Keywords and phrases: heat supply system; fluid coolant; air heating radiator; convector; energy audit.

Abstract: The article presents the design of an experimental installation for studying, researching, conducting an energy survey and energy audit of a heat supply system with a fluid coolant, a plate heat exchanger, an air heating radiator with a fan and a heating convector. The objective is to develop an experimental installation for studying the heat supply system and heat exchangers with a fluid coolant. The tasks include the development of energy audit techniques for a plate heat exchanger, an air heating radiator and a convector. Hypothesis: increasing the energy efficiency of heat supply systems and heat exchangers. Research method: mathematical and physical experiment. Result achieved: development of devices and techniques for the study of heat exchangers with a fluid coolant.

A Method for Comprehensive Calculation of Organizational and Technological Reliability of Repairs of Buildings Damaged by Explosions

S.S. Korostelev¹, A.A. Lapidus², A.A. Rudenko³

¹ *KNHIIIiSK Seven LLC, Ust-Luga, Leningrad Region;*

² *National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow;*

³ *St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg*

Keywords and phrases: comprehensive assessment; reliability of repairs; damage to buildings.

Abstract: The article discusses the selection of the most significant factors affecting the effectiveness of organizational and technological reliability (OTN) in the repair of buildings damaged by an explosion. The purpose of the study is to select the most significant factors affecting the OTN of building repair and to develop a method for calculating OTN. The objectives of the study include a regression analysis of the significance of factors and the development of a comprehensive method for calculating OTN. The scientific hypothesis of the study is based on the assumption that the calculation of OTN should be based on a set of factors that affect the duration, quality, and estimated cost of repair. Research methods include analysis, synthesis, induction, deduction, and predictive modeling. Based on the results of the conducted research, it was determined that the most significant factors affecting the OTN are: the quality of work organization; compliance with work production technology; employee qualifications; project development quality; availability of raw materials and equipment; and the nature and conditions of work production.

Modeling and Methods of Selecting the Type of Work in Case of Damage to Buildings from Explosive Impact

D.A. Sorokina¹, A.A. Lapidus², A.A. Rudenko³

¹ *D.B.C. Construction LLC, Moscow;*

² *National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow;*

³ *St. Petersburg state university of architecture and civil engineering, St. Petersburg*

Keywords and phrases: building damage; modeling; repair; ranking.

Abstract: The article discusses the modeling and methodology of choosing the type of work in case of damage to buildings by explosive impact. The purpose of the study is to assess the significance of the factors and develop a methodology for selecting work in case of damage to buildings by an explosion. The task is to perform a regression assessment of the influence of factors on the choice of the type of work in case of damage to buildings. The hypothesis of the study is based on the assumption that the choice of the type of work in case of damage to buildings is a complex and multicomponent task, solved taking into account the factors of the regression model. Research methods: regression analysis, expert analytical assessment, forecasting and modeling. As a result of the study, the most significant factors influencing the choice of the type of work were identified: the degree of physical wear and destruction, the residual bearing capacity of structures, the cost of restoration work, the nature and volume of damage, the need for this type of premises in the area, the presence of harmful emissions or pollution.

Improving the Efficiency of Monolithic Works in the Hot Climate Conditions of Syria

A.O. Khubaev, K. Alsad, I.S. Rumyantsev

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

Keywords and phrases: concrete; hot climate; monolithic works; plastic shrinkage; technological risks; concrete curing; construction efficiency.

Abstract: The paper addresses monolithic concrete works performed under the hot climatic conditions of Syria. The study focuses on how high temperature, dry air, solar exposure and wind affect the technological reliability of concreting, including workability retention, moisture loss, early hardening conditions and defect formation. The purpose of the paper is to identify the main risks that occur during monolithic construction and to outline measures for reducing them with regard to Syrian regional conditions. The research methods include analysis of scientific and regulatory literature, the comparative-analytical method, generalization of technological recommendations, and systematization of factors affecting the quality of monolithic works in hot climate conditions. The analysis results in an integrated approach based on mixture and temperature control, reduced transportation and placing time, protection of freshly placed concrete against rapid drying and timely curing.

The Relationship Between Conscientiousness and Neuroticism as a Factor of Nervous System Exhaustion in First-year Students

M.A. Anikina, V.N. Butenko, T.G. Avdeeva, E.O. Vinnik

Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Keywords and phrases: first-year students; conscientiousness; neuroticism; nervous system exhaustion; university adaptation; psychophysiological characteristics; “toxic synergism”.

Abstract: The study examines the psychophysiological characteristics of first-year students with high levels of conscientiousness and neuroticism. The sample consisted of 38 first-year students of Siberian Federal University aged 18 to 21 years. The following methods were used: NEO-FFI, Eysenck Personality Inventory (EPI), a block of behavioral questions, and the Lotus hardware-software complex. The combination of high conscientiousness and high neuroticism is a significant risk factor for neuropsychic exhaustion. An integrative model of “toxic synergism” is proposed.

The Relationship Between Resilience to Cyberbullying and Self-Esteem and Emotional Intelligence in Freshman Students

M.A. Anikina, S.A. Makeev, L.M. Turanova, A.A. Mashanov
Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Keywords and phrases: cyberbullying; resilience to cyberbullying; self-esteem; emotional intelligence; freshman students; adaptation crisis; vulnerability predictors.

Abstract: The article examines the relationship between resilience to cyberbullying and such socio-psychological personality characteristics as self-esteem and emotional intelligence among freshman students during the adaptation crisis. A negative correlation was found between vulnerability to cyberbullying and the level of self-esteem and interpersonal emotional intelligence. The strongest relationship was revealed between interpersonal emotional intelligence and vulnerability to digital aggression. It is shown that students with adequate self-esteem and developed emotional intelligence are significantly less likely to be unprotected from cyberbullying. The article substantiates the necessity of preventive work aimed at developing emotional self-regulation and optimizing self-esteem, rather than limiting screen time.

Adaptation of Specialized Ski Training Exercises for Integrated Application with Students at University

K.S. Anufriev, N.V. Danilova
National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk

Keywords and phrases: physical education; ski training; special exercises; healthy lifestyle; students.

Abstract: This study is aimed at considering specialized exercises from skiing and their implementation in the program of physical education classes in universities. Attention is also focused on attracting students to a healthy lifestyle and motivation to physical education through the development of special training. The paper provides a classification of training elements from skiing for integration into the educational process. The aim of this study is to develop and test the methodology of specialized exercises from the field of skiing for their high-quality and safe integrated use in physical education classes at the university. Research objectives are to consider the process of conducting ski training with students; study the main problems that arise during training processes; find and characterize specialized skiing exercises; develop a typology of specialized exercises to demonstrate to students; conduct an experiment by investigating their reaction and the development of physical and technical skills when passing the control distance.

Interviewing as a Means of Characterizing Characters in the Study of L.N. Tolstoy's Epic Novel "War and Peace"

A.A. Budishcheva, N.I. Nikonova
North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk

Keywords and phrases: dialogic technologies; interviewing; epic novel; characterization of the hero.

Abstract: The aim of this article is to study interviewing as a means of characterizing the characters in Lev Tolstoy's epic novel "War and Peace" in 10th-grade classrooms. The objectives include examining the methodological features of interviewing as a dialogic technique and summarizing the results of a pedagogical experiment. The research hypothesis suggests that interviewing enables a transition from a monologue-based learning model to a dialogic one, where knowledge is formed through meaningful interaction between students. The study utilized the following methods: analysis of methodological literature and systematization of practical material. The study found that using interviews

in literature lessons promotes a deeper personal understanding of the characters' inner worlds and the development of students' communication and analytical skills.

Teaching Style as a Basis for the Development of a Classroom Psychological Climate

A.I. Gorbunova, N.A. Mosina

Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, Krasnoyarsk

Keywords and phrases: communicative tolerance; socio-psychological climate; conflict management strategies; subject-subject relations; teaching style; teacher empathy; school anxiety.

Abstract: The article examines the influence of teaching style on the psychological climate in the classroom. Research base: Secondary School No. 158 Grani in Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Krai. The author analyzes the concept of didactogenia and describes the causes and consequences of didactogenia. Attention is paid to teaching styles, their classification, and their relationship to the psychological state of students. The study reveals the relationship between the personal characteristics of students and the teaching styles of their classroom teachers. The purpose of the study is to identify the influence of the teacher's personal characteristics on the socio-psychological climate of the classroom and the possible manifestation of didactogenic factors. The objectives of the study are as follows: 1) Theoretically substantiate the connection between the personal characteristics of a teacher and the choice of teaching styles that cause didactogeny. 2) To conduct an empirical study of the manifestation of personal characteristics in the teaching style. 3) Describe the results, draw conclusions and generalizations. The hypothesis of the study is that the personal characteristics of the teacher contribute to the choice of teaching style, which creates a unique psychological environment in the classroom, but not always a safe one, containing didactogenic factors.

87 3rd grade students and their classroom teachers participated in the study. To identify relationships, we used the SPSS 23.0 application package for statistical analysis, developed by IBM. To assess the teacher's personal characteristics, we used the following methods: the method for diagnosing the level of empathic abilities by V.V. Boyko; the method for diagnosing communicative tolerance by V.V. Boyko; and the Thomas test for determining conflict behavior styles. To assess the psychological climate in the classroom, the following methods were used: "Sociometry" by Jacob Levi Moreno; "Scale for Assessing the Socio-Psychological Climate in a Group" by O.S. Mikhalkuk and A.Yu. Shalyto; and the "Phillips School Anxiety Questionnaire" by B.N. As a result of the conducted work, three interconnections of the psychological climate of the class from teaching styles were identified. The first relationship: the frequent use of the teacher's strategy of adaptation in conflict situations leads to a high level of fear of self-expression among students. The second relationship: Students' fear of self-expression is associated with teachers' categoricity and conservatism. The third relationship: Students' fear of self-expression arises from the inability of teachers to adapt to their individual characteristics.

The Role of Swimming as an Academic Discipline at University in Students' Health in Conditions of the North

N.N. Kladkin, S.N. Kladkina

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk

Keywords and phrases: swimming; students; health promotion.

Abstract: The aim of this article is to determine the impact of swimming as an academic discipline on students' health and physical fitness. The objectives of the article are to investigate the impact of systematic swimming training on the functional state of students' respiratory and cardiovascular systems; and to evaluate the dynamics of vital capacity indicators, Stange's and Genchi's tests after a semester of

swimming. The research hypothesis is that systematic swimming lesson as part of an academic discipline will contribute to the improvement of students' functional performance, enhance their adaptive capacity, strengthen their respiratory system, and reduce the negative impact of northern climate conditions on their health. Research methods included analysis of scientific and methodological literature; pedagogical observation and experimentation; functional tests (Stange and Genchi tests); and measurement of vital capacity. Results: the results demonstrate positive dynamics in vital capacity and the Stange and Genchi tests, indicating increased resistance to hypoxia and improved adaptive capacity. It is concluded that regular swimming training is an effective health promotion tool in the university educational environment.

The Growing Shortage of Teaching Staff in the Russian Federation by 2026

V.A. Kurinnoy, Z.S. Seidametova

Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol

Keywords and phrases: teacher shortage; teaching staff; general education; Russian Federation; computer science education; STEM subjects; teacher workload; education policy.

Abstract: The aim of this article is to examine and analyze the shortage of teaching staff in the Russian Federation as a complex socio-educational problem that affects the quality, accessibility, and sustainability of general education. To achieve this goal, the following objectives were set: to examine official and unofficial vacancy statistics, regional disparities among teachers, and the aging of the teaching staff. The research hypothesis is that the shortage of teaching staff is increasing, particularly in engineering, technology, natural sciences, and IT education.

The Influence of Physical Education Classes on Reducing Stress in Students During the Exam Session

L.A. Kuchkova¹, A.Yu. Schroeder^{1, 2}, N.S. Kuznetsova^{1, 3}, A.V. Tsokur¹

¹ Omsk State Medical University;

² Omsk Armored Engineering Institute;

³ F.M. Dostoevsky Omsk State University, Omsk

Keywords and phrases: stress; examination session; students; physical education; situational anxiety.

Abstract: The purpose of the study is to determine the impact of physical education classes on reducing stress among students during the exam session. Research objectives: to determine the level of anxiety among students of OmSMU during the examination session; to develop recommendations on "overcoming stress" for students of 1–3 courses of OmSMU through physical education. It is assumed that the use of physical education facilities during the exam session will reduce the stress level of students. The following research methods were used in the work: analysis of scientific and methodological literature, questionnaires, assessment of the level of situational anxiety according to the method of C.D. Spielberger, methods of mathematical statistics. During the examination session, it is necessary to select and dose the physical activity correctly. Regular physical education helps to reduce students' stress levels during exams, while lack of physical activity, on the contrary, increases anxiety and worsens sleep quality, which increases stress. This work indicates the need for a conscious approach to stress in combination with physical exercise to minimize it in maintaining the physical and psychological health of students. The article will be a useful resource for students seeking to overcome and prevent its negative effects.

Features of Firearms Training for Students of Educational Institutions of the Ministry of Internal Affairs of Russia for Actions in Extreme Conditions

A.V. Medvedev¹, K.A. Astafyev², O.V. Finikova¹, A.A. Tarakanova¹

¹ *Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin, Belgorod;*

² *Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh*

Keywords and phrases: fire training; professional activities; extreme conditions; students; stress resistance; tactical and special training; psychological readiness; and the use of weapons.

Abstract: The article explores the specifics of developing professional competencies in conditions that are as close as possible to real operational and service activities. It examines modern approaches to modeling stressful situations in fire training classes, analyzes typical mistakes in training, and suggests ways to eliminate them. Special attention is paid to the psychological component of training – the formation of moral and psychological stability, the ability to make decisions under conditions of time constraints and unpredictable developments. The necessity of integrating tactical and special training, and the use of modern technical training tools is substantiated, including simulators and VR training devices.

Methodology for Developing Professional Competence of Information Systems Tester in Future IT Specialists During Training Using Virtual Reality Technologies

P.R. Ovchinnikova, T.A. Lavina

I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary

Keywords and phrases: professional competence; information systems tester; virtual reality; IT specialist training; software testing; practice-oriented learning; visualization; VR-based course.

Abstract: The article considers the problem of forming the professional competence of an information systems tester among future IT specialists in the context of updating software quality requirements and increasing the importance of practice-oriented training. The relevance of the research is due to the contradiction between the IT industry's need for specialists capable of performing functional, regression, load and research testing, and the lack of development of training methods that allow the formation of relevant knowledge, skills and professionally significant qualities in an environment close to real practice. The aim of the article is to develop and substantiate a methodology for the formation of professional competence of an information systems tester among future IT specialists in the learning process using virtual reality technologies. The article reveals the structure of the tester's professional competence, the pedagogical conditions of its formation, the logic of building the training course "Testing information systems using virtual reality technologies", as well as the system of level assessment of learning outcomes. It is proved that the use of VR technologies makes it possible to enhance the visibility of testing processes, visualize data flows, system status changes, performance and behavior of artificial intelligence modules, as well as increase students' motivation and the quality of mastering practical actions. The practical significance of the research lies in the possibility of using the proposed methodology in the design of professional cycle disciplines in IT universities and in the system of additional professional education.

Features of the Formation of the Vocabulary of Adjectives in Older Preschoolers with General Speech Underdevelopment of the 3rd Level

Yu.S. Pyashkur, L.I. Ponomareva

Shadrinsk State Pedagogical University, Shadrinsk

Keywords and phrases: general speech underdevelopment of the 3rd level; senior preschoolers;

adjective vocabulary; lexical and semantic development; grammatical structure of speech; features; level of development; speech therapy.

Abstract: The article discusses the features of the formation of the vocabulary of adjectives in older preschoolers with general speech underdevelopment of the 3rd level. The features of the assimilation of adjectives are described. Children have difficulties in understanding the meanings of adjectives and their use in their own speech. In their statements, there are errors in the choice of words, substitutions of features, and violations of the coordination of adjectives with nouns. The use of antonyms, as well as relative and possessive adjectives, causes significant difficulties. The article demonstrates the need for targeted speech therapy aimed at developing the vocabulary of adjectives. The article identifies the areas of correctional work, including expanding the active vocabulary, clarifying the meanings of adjectives, and consolidating the skills of using them in the independent speech of children with 3rd level of general developmental disorder.

The aim of this article is to update knowledge on the formation of the vocabulary of adjectives in children with speech disorders and to present the results of an experimental study of the features and level of formation of the vocabulary of adjectives in older preschoolers with 3rd level of general speech disorder.

The objectives of the study are to analyze the special literature on the research problem, to experimentally establish the features and determine the initial level of the vocabulary of adjectives in older preschoolers with III level of general speech disorder, and to identify the directions of correction and development work on the formation of the vocabulary of adjectives in children.

Research hypothesis: we assume that children's vocabulary of adjectives has a number of features, a low level of development, and is in the process of formation, which requires specially organized correctional and developmental work to be carried out. Research methods: experiment, analysis, synthesis, and comparison.

Results: the article presents the results of studying the vocabulary of adjectives in older preschool children with Level III of general developmental disorder.

Practical significance: the obtained results can be useful for speech therapists, educators, and parents of children with the 3rd level of general developmental disorder to develop their vocabulary of adjectives.

Analysis of Technical and Tactical Characteristics of Serve and Receive Game of Chinese Tennis Player Sun Yingsha

M.I. Severyanova, Tian Lung

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk

Keywords and phrases: Sun Yingsha; table tennis; serve; receive; technique; tactics; competitive activity analysis.

Abstract: This article presents an analysis of the technical and tactical characteristics of the serve and return game of Chinese tennis player Sun Yingshi, one of the leaders of modern world table tennis. The aim of the study is to identify and systematize the key technical and tactical elements of serve and return game that ensure Sun Yingshi's high competitive performance. The objectives of the study are: to analyze the protocols of Sun Yingsha's competitive activity in six official matches of international WTT tournaments in 2024–2025; to identify the main types of serves used by the tennis player and determine their frequency and effectiveness; to analyze the types of serve returns used by Sun Yingsha and subsequent tactical actions after the return; to develop quantitative characteristics of the effectiveness of serve and receive in different phases of the rally. The research hypothesis was that Sun Yingsha demonstrates a highly effective serve and return strategy based on a dominant short serve with minimal spin toward the center of the table and an active return with a forehand flip, enabling her to seize the initiative in a rally early on. The study's methods included pedagogical observation and video analysis using still images and slow motion, statistical data processing, content analysis, and expert evaluation. Results: The primary tactical strategy for serving was found to be a short serve with underspin toward

the center of the table. After serving, the forehand flip attack from the center of the table on the second or third shot dominates. On the return, priority is given to a short, active forehand flip return and a block return followed by a counterattack. Sun Yingsha combines classical Chinese technical training with an aggressive, proactive style of serving and receiving, setting a benchmark for training young athletes.

Syntactic Transformations in Russian Translations of the Analects Based on Communicative Grammar

*Zhang Xuelin, Wang Jianli
Heihe University, Heihe (China);
Beijing Language and Culture University, Beijing (China)*

Keywords and phrases: communicative grammar; the Analects; Russian translation versions; syntactic function; communicative adaptation; cultural communication.

Abstract: Within the framework of communicative grammar theory, this study is devoted to the classic Russian translations of the Analects. The purpose of the study is to reveal the laws of syntactic reconstruction and the mechanisms of communicative adaptation in these translations. The hypothesis of the study is that syntactic transformations are a key means of realizing the communicative functions of the original text, and communicative grammar enables their systematic identification. The research method includes the analysis of examples from classic translations, the comparison of syntactic structures, and the application of communicative grammar theory. The study proposes new approaches for the effective external translation of Chinese classical texts.

Methods of Injury Prevention in Amateur Athletes

*I.I. Baishev, G.N. Shergin, A.G. Grigorieva
North-Eastern Federal University named after MK Ammosov, Yakutsk*

Keywords and phrases: sports injuries; amateur athletes; injury prevention; training process organization; functional training; recovery measures.

Abstract: The relevance of the study is determined by the growing popularity of amateur sports and the associated increase in injuries among this category of athletes, which requires the development of effective preventive measures. The aim of the article is to identify and theoretically substantiate a set of methods for injury prevention in amateur athletes. Materials and methods. The analysis of scientific and methodological literature was carried out, data on the problem of sports injuries were systematized, and practical experience in organizing the training process was summarized. Results. It has been established that injuries in amateur athletes have a multifactorial nature, including organizational, methodological, and individual-personal determinants. The main directions of prevention have been identified: rational organization of training sessions, functional preparation of the musculoskeletal system, recovery measures, and medical control. Conclusion. Effective prevention of injuries in amateur athletes is possible only with the integrated application of organizational-pedagogical, medical-biological, and psychological measures adapted to the level of preparedness of those involved.

Psychological Models of Interrelation of Family Concepts and Emotional Intelligence of Cadets of the Educational Organization of the Ministry of Internal Affairs of Russia

*V.N. Batishchev, V.A. Kochnev, Yu.M. Okhotnikov, R.V. Chaynikova
Moscow University of the Order of Honor of the Ministry of Internal Affairs
of the Russian Federation named after V.Ya. Kikot, Moscow*

Keywords and phrases: positive psychodynamic approach; psychological model; family concepts;

emotional intelligence.

Abstract: The article presents the results of an empirical study aimed at developing, through logical-mathematical modeling based on factor analysis, psychological models of the relationship between family concepts and emotional intelligence (EI) among cadets of an educational institution of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation with low and adequately developed levels of EI, within the framework of a positive psychodynamic approach. Objectives: to use factor analysis to calculate mathematical models of the relationship between family concepts and the structural components of the EI of cadets with low and adequately formed EI; to analyze the developed mathematical models and draw conclusions.

Hypotheses: 1) it is assumed that there are interrelations between family concepts and structural elements of the EI of cadets, on the basis of which it can be logically assumed that the development of structural components of EI is conditioned by family concepts; 2) there are features of interrelations between family concepts and structural components of the EI of cadets with a low and adequately formed level of EI, expressed in the fact that harmonious family concepts demonstrated by parents (or persons replacing them) in the parental family and internalized as a system of attitudes towards oneself, others, social and spiritual values in the structures of the child's consciousness contribute to the formation of a higher level of EI, while disharmonious family concepts internalized in the structures of the child's consciousness hinder the development of EI; 3) it is assumed that a qualitative analysis (within the framework of the method of logical and mathematical modeling) of a model for a sample of cadets with a low level of EI allows us to identify psychocorrectional targets in order to conceptualize psychological assistance measures for developing EI in this group of cadets.

Research methods include theoretical and logical-mathematical modeling, methods of mathematical statistics (cluster analysis, factor analysis, Mann–Whitney U-test), comparative analysis, and generalization.

Results achieved: using cluster analysis, cadets were divided into clusters (groups) according to the severity of EI; using the Mann–Whitney U-test, significant differences in interpersonal and intrapersonal aspects of EI and family concepts were identified in the studied groups of cadets; using factor analysis, psychological (logical-mathematical) models of the interrelationships of family concepts and EI in cadets with a low level of EI and adequately formed EI; hypothetically identified psychocorrective targets within the framework of conceptualization of psychological assistance measures for cadets with a low level of EI, due hypothetically to family concepts.

Features of the Construction of a System for Improving the Qualifications of Teachers Based on Andragogical Facilitation

E.A. Dneprova, V.P. Smorchkova
State University of Education, Moscow

Keywords and phrases: cascade-cluster model; professional development; facilitation; achievement motivation; motivation to avoid failure; personal sense of purpose in innovation; in-house professional development.

Abstract: The aim of the study is to develop and experimentally test a cascade-cluster model as a basis for improving the qualifications of teaching and management personnel, built on the principles of andragogical facilitation.

The objectives are to identify the initial level of readiness of teachers and managers to implement innovation, including a diagnosis of dominant motivation; to develop a cascade-cluster model (three levels: basic, technological, and organizational-activity) with a facilitative support mechanism; to test the model experimentally; and to determine the conditions for sustainable motivational transformation. Hypothesis: Effective implementation of innovations (using the Federal State Educational Standard as an example) is possible through the development of a cascade-cluster model that combines coursework with in-house professional development, transforming the motivation to avoid failure into the motivation to

achieve success through the development of personal meaning, creating situations of success, immersing teachers in creative activities, and facilitating support for teachers at all stages.

Methods included theoretical analysis, modeling, pedagogical experiment (ascertaining, exploratory, and formative stages), questionnaires (n = 400), testing (modified A. Mehrabian method), projective test "The Meaning of the Federal State Educational Standard", "unfinished sentences" test (n = 120), statistical analysis.

Results: at the ascertaining stage, 87 % of teachers demonstrated a motivation to avoid failure; only 3 % had sufficient knowledge to implement the Federal State Educational Standard as a systemic innovation; 42 % opposed the innovation. After the formative stage, the proportion of teachers with sufficient knowledge increased to 68 %, while the proportion opposed to innovation decreased to 17.6 %. Among managers, the level of high readiness increased from 6 % to 87 %. Ninety-seven percent of trainees developed a value-based attitude toward government procurement, and 67 % developed a personal sense of purpose in innovation. The hypothesis was confirmed.

Physical Education as a Tool for Developing the Coordination Abilities of IT Students

N.A. Komarova, E.G. Pyanzova

National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk

Keywords and phrases: physical education; physical education facilities; programming students; coordination abilities.

Abstract: The aim of the study was to describe the possibility of using physical education tools to develop the coordination abilities of IT students. Research hypothesis: physical exercises of a coordination orientation can be used to stimulate the cognitive processes of software students. With the help of the analysis of scientific literature and own pedagogical experience, special physical exercises were highlighted to develop the coordination abilities of students. Versions of coordination exercises with balls, on unstable surfaces, on gymnastic benches and on coordination ladders are given.

The Practical Aspect of Application of Modern Approaches to Teaching Master's Degree Students a Foreign Language at Technical University

E.A. Molodykh, S.V. Pavlova

Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh

Keywords and phrases: modern methods of teaching; communicative competence; foreign language teaching; education; technical university.

Abstract: The aim of the article is to examine the particularities of application of modern approaches to teaching master's degree students a foreign language at a technical university. The hypothesis is as follows: the use of new methods, techniques and forms of training master's students a foreign language facilitates the development of their foreign language communicative competence and improves their knowledge in professional area. Research methods include both theoretical and empirical approaches, allowing for a comprehensive examination of this problem. The effectiveness of application of modern methods, techniques and forms of training master's students a foreign language is proved. These modern approaches to teaching a foreign language increase students' attention and motivates them to practice critical thinking skills of high level and to solve unconventional tasks.

Axiological and Contextual Approaches in Training Teachers in “Fundamentals of Safety and Homeland Protection”: Experience of Modelling Educational Situations

*V.Yu. Safonova, L.A. Akimova
Orenburg State Pedagogical University, Orenburg*

Keywords and phrases: teacher professional readiness; axiological approach; contextual approach; modelling of educational situations; professional value orientations; professional retraining.

Abstract: The article substantiates the need for integrating axiological and contextual approaches in the training of teachers of the new academic subject “Fundamentals of Safety and Homeland Protection”. The aim of the study is the theoretical and practical substantiation of the axiological and contextual approaches as a methodological basis for modelling educational situations in the process of training teachers of this subject. The methodology includes three successive stages: analytical, design-based, and evaluative-reflexive, and is implemented on a modular basis taking into account the heterogeneity of the students, i.e., persons with and without pedagogical education. The research results confirm that systematic modelling of educational situations containing value dilemmas contributes not only to the formation of operational skills but also to the restructuring of the teacher’s value-meaning sphere.

Historical and Pedagogical Analysis of Military Training of Students at Universities of the Soviet Union in the Second Half of the 20th Century

*D.V. Chalkin, I.P. Kan
Military Training Centre at the Moscow Aviation Institute, Moscow*

Keywords and phrases: military training of students; mobilization reserve; military department; officer corps; training system; civilian specialty; sergeants.

Abstract: The article presents an analysis of the military training system in civilian universities of the USSR in the second half of the 20th century. It examines the principles of military training, reflecting the evolution of the goals, content, methods and regulatory framework of this unique pedagogical phenomenon. The aim of the work is a historical and pedagogical analysis of the military training system in universities of the USSR in the second half of the 20th century, identifying its stages, content, methods, contradictions and pedagogical heritage. The objectives of the article are to: analyze the regulatory and legal framework, stages, goals, content and organizational forms; identify contradictions and crises; formulate achievements and shortcomings. Research hypothesis. The hypothesis of the study is the assumption that the Soviet system of military training in civilian universities was effective in addressing mobilization tasks, but had internal pedagogical contradictions (formalism, detachment from real combat conditions) that intensified towards the end of the period. The study employed the following methods: historical and pedagogical analysis; retrospective analysis; comparative historical method; analysis of regulatory documents and archival materials; synthesis; classification; periodization method; pedagogical observation (secondary); analysis of memoirs. Results achieved. Within the framework of this study: the stages of the military training system were identified; the structure of training was described; contradictions in the system were revealed; the hypothesis about the dual nature of the system was proven; the pedagogical legacy for modern military education was formulated.

On Approaches to Determining Learning Methods in Aviation University

*A.V. Shavlov, M.N. Bubin, S.V. Khokhotva
Branch of Military Training and Research Center of the Air Force
“Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”, Chelyabinsk*

Keywords and phrases: training; teaching methods; classification of teaching methods; didactics;

education; aviation.

Abstract: The article discusses various approaches to teaching methods using the example of the work of the departments of an aviation military university. The aim of the study was to develop the main approaches to the classification of teaching methods as results that are relevant to the pedagogy of universities in the aerospace forces system. The objectives of the study were to evaluate the existing approaches to teaching methods and systematize them in the conditions of the Branch of the Military Educational Scientific Center. The research methods used were analytical, comparative, and search-based. The implementation of the proposed main approaches to the classification of teaching methods is aimed at shaping the personality of a combat management officer.

НАШИ АВТОРЫ

List of Authors

Винокуров Р.Н. – аспирант Московского государственного технологического университета «Станкин», г. Москва, e-mail: geniomer@gmail.com

Vinokurov R.N. – Postgraduate Student, Moscow State Technological University “Stankin”, Moscow, e-mail: geniomer@gmail.com

Гальчич М.А. – кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных систем Московского государственного технологического университета «Станкин», г. Москва, e-mail: M.Galchich@stankin.ru

Galchich M.A. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Information Systems, Moscow State Technological University “Stankin”, Moscow, e-mail: M.Galchich@stankin.ru

Голубева А.С. – кандидат экономических наук, преподаватель факультета технологического менеджмента и инноваций Национального исследовательского университета ИТМО, г. Санкт-Петербург, e-mail: astgolubeva@itmo.ru

Golubeva A.S. – Candidate of Science (Economics), Lecturer, Faculty of Technological Management and Innovation, National Research University ITMO, St. Petersburg, e-mail: astgolubeva@itmo.ru

Нурмухаматов М.А. – инженер-исследователь исследовательского центра в сфере искусственного интеллекта «Сильный искусственный интеллект в промышленности» Национального исследовательского университета ИТМО, г. Санкт-Петербург, e-mail: muzaffarmuz@yandex.ru

Nurmukhamadov M.A. – Research Engineer, Artificial Intelligence Research Center «Strong Artificial Intelligence in Industry», National Research University ITMO, St. Petersburg, e-mail: muzaffarmuz@yandex.ru

Мишкин В.И. – студент Национального исследовательского университета ИТМО, г. Санкт-Петербург, e-mail: spammish@yandex.ru

Mishkin V.I. – Student, National Research University ITMO, St. Petersburg, e-mail: spammish@yandex.ru

Черный А.В. – студент Национального исследовательского университета ИТМО, г. Санкт-Петербург, e-mail: adriancherny@gmail.com

Cherny A.V. – Student, National Research University ITMO, St. Petersburg, e-mail: adriancherny@gmail.com

Лукута Е.С. – старший преподаватель Института компьютерных наук Национального исследовательского технологического университета МИСИС, г. Москва, e-mail: lukutaes@gmail.com

Lukuta E.S. – Senior Lecturer, Institute of Computer Science, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: lukutaes@gmail.com

Аристов А.О. – доктор технических наук, профессор Института компьютерных наук На-

ционального исследовательского технологического университета МИСИС, г. Москва, e-mail: aristov.ao@misis.ru

Aristov A.O. – Doctor of Engineering, Professor, Institute of Computer Science, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: aristov.ao@misis.ru

Лукута А.Л. – ассистент Института компьютерных наук Национального исследовательского технологического университета МИСИС, г. Москва, e-mail: lukutaa.da@gmail.com

Lukuta A.L. – Assistant Lecturer, Institute of Computer Science, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: lukutaa.da@gmail.com

Пшеничнов М.С. – студент Национального исследовательского технологического университета МИСИС, г. Москва, e-mail: m2201956@edu.misis.ru

Pshenichnov M.S. – Student, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: m2201956@edu.misis.ru

Грибанов Д.С. – ассистент Института компьютерных наук Национального исследовательского технологического университета МИСИС, г. Москва, e-mail: gribanovds@yandex.ru

Gribanov D.S. – Assistant Lecturer, Institute of Computer Science, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: gribanovds@yandex.ru

Макаренко К.В. – магистрант Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: plus.makarenko@yandex.ru

Makarenko K.V. – Master's Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: plus.makarenko@yandex.ru

Попова О.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры систем искусственного интеллекта Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: OlgaArc@yandex.ru

Popova O.A. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Artificial Intelligence Systems, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: OlgaArc@yandex.ru

Добронет Б.С. – доктор физико-математических наук, профессор кафедры систем искусственного интеллекта Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: BDobronets@yandex.ru

Dobronets B.S. – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Department of Artificial Intelligence Systems, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: BDobronets@yandex.ru

Мамбве М.М. – аспирант Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, e-mail: musupilamambwe@mail.ru

Mambwe M.M. – Postgraduate Student, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: musupilamambwe@mail.ru

Андреев В.В. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ядерных реакторов и энергетических установок Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, e-mail: vyach.andreev@mail.ru

Andreev V.V. – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Nuclear Reactors and Power Plants, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,

e-mail: vyach.andreev@mail.ru

Алхазайме Х.А.К. – аспирант Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, e-mail: hashem.alhazaimah@gmail.com

Alhazaimah H.A.K. – Postgraduate Student, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, e-mail: hashem.alhazaimah@gmail.com

Петрянкин А.В. – магистрант Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, e-mail: petryankin.av@gmail.com

Petryankin A.V. – Master's Student, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, e-mail: petryankin.av@gmail.com

Гродзенский Я.С. – кандидат технических наук, доцент кафедры криптологии и кибербезопасности Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, e-mail: ysgrodzensky@mephi.ru

Grodzenskiy Ya.S. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Cryptology and Cybersecurity, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, e-mail: ysgrodzensky@mephi.ru

Скобцов В.Ю. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук; доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: vasko_vasko@mail.ru

Skobtsov V.Yu. – Candidate of Science (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; Associate Professor, Department of Computer Technologies and Software Engineering, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, e-mail: vasko_vasko@mail.ru

Потапов С.А. – студент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: potapo.potapov2014@yandex.ru

Potapov S.A. – Student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, e-mail: potapo.potapov2014@yandex.ru

Ефремов А.С. – студент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: andrey200ok@yandex.ru

Efremov A.S. – Student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, e-mail: andrey200ok@yandex.ru

Степанов П.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: pavel.stepanov@guap.ru

Stepanov P.A. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Computer Technologies and Software Engineering, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, e-mail: pavel.stepanov@guap.ru

Ушаков Д.П. – студент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: ushdaniil@yandex.ru

Ushakov D.P. – Student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg,

e-mail: ushdaniil@yandex.ru

Козлов А.В. – студент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: antgresss@gmail.com

Kozlov A.V. – Student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, e-mail: antgresss@gmail.com

Кочемиров М.А. – студент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: kma-2004@mail.ru

Kochemirov M.A. – Student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, e-mail: kma-2004@mail.ru

Сяо Шусинь – аспирант Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, e-mail: siao_shusin@voenmeh.ru

Xiao Shuxin – Postgraduate Student, Baltic State Technical University “VOENMEKH” named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, e-mail: siao_shusin@voenmeh.ru

Туркина Н.Р. – кандидат технических наук, доцент кафедры механики деформируемого твердого тела Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, e-mail: turkina_nr@voenmeh.ru

Turkina N.R. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Solid Mechanics, Baltic State Technical University “VOENMEKH” named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, e-mail: turkina_nr@voenmeh.ru

Турянский А.М. – аспирант Сургутского государственного университета, г. Сургут, e-mail: turians@mail.ru

Turyansky A.M. – Postgraduate Student, Surgut State University, Surgut, e-mail: turians@mail.ru

Солдатов А.И. – доктор технических наук, профессор отделения электронной инженерии Томского политехнического университета, г. Томск, e-mail: asoldatof@mail.ru

Soldatov A.I. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Electronic Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: asoldatof@mail.ru

Хусниев Д.А. – магистрант Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Москва, e-mail: fastik190@mail.ru

Khusniev D.A. – Master’s Student, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: fastik190@mail.ru

Воронкова О.В. – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и управления Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург, e-mail: nauka-bisnes@mail.ru

Voronkova O.V. – Doctor of Economics, Professor, Department of Economics and Management, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, e-mail: nauka-bisnes@mail.ru

Шмыглев Д.Н. – аспирант Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, г. Москва, e-mail: lev.shmyg@yandex.ru

Shmyglev D.N. – Postgraduate Student, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: lev.shmyg@yandex.ru

Судаков В.А. – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института прикладной ма-

тематики имени М.В. Келдыша Российской академии наук, г. Москва, e-mail: sudakov@ws-dss.com

Sudakov V.A. – Doctor of Engineering, Leading Researcher, IPM named after M.V. Keldysh of the Russian Academy of Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: sudakov@ws-dss.com

Апана К.А. – аспирант Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, e-mail: kenneth.89@mail.ru

Арана К.А. – Postgraduate Student, St. Petersburg Electrotechnical University LETI, St. Petersburg, e-mail: kenneth.89@mail.ru

Шичкина Ю.А. – доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, e-mail: strange.y@mail.ru

Shichkina Yu.A. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Computer Engineering, St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», Saint Petersburg, e-mail: strange.y@mail.ru

Исаев В.С. – магистрант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, e-mail: vasyaisaev31@gmail.com

Isaev V.S. – Master's Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, e-mail: vasyaisaev31@gmail.com

Дробинцев П.Д. – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, e-mail: drobintsev_pd@spbstu.ru

Drobintsev P.D. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, e-mail: drobintsev_pd@spbstu.ru

Кривоногов Д.Ю. – студент Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Москва, e-mail: chistyakovia@gmail.com

Krivotnogov D.Yu. – Student, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: chistyakovia@gmail.com

Чистяков И.А. – студент Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Москва, e-mail: chistyakovia@gmail.com

Chistyakov I.A. – Student, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: chistyakovia@gmail.com

Калитин Д.В. – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора института информационных технологий и компьютерных наук Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», г. Москва, e-mail: chistyakovia@gmail.com

Kalitin D.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Deputy Director of the Institute of Information Technology and Computer Science, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, e-mail: chistyakovia@gmail.com

Фирсов А.В. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и компьютерного дизайна Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва, e-mail: firsov-av@rguk.ru

Firsov A.V. – Doctor of Engineering, Professor, Head of Department of Information Technology and Computer Design, A.N. Kosygin State University of Russia (Technology. Design. Art), Moscow, e-mail: firsov-av@rguk.ru

Чикунев И.М. – кандидат технических наук, доцент, директор института цифровой трансформации и информационных технологий Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва, e-mail: chikunov-im@rguk.ru

Chikunov I.M. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Director of the Institute of Digital Transformation and Information Technology, A.N. Kosygin State University of Russia (Technology. Design. Art), Moscow, e-mail: chikunov-im@rguk.ru

Каршаков П.Е. – аспирант Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва, e-mail: pkarshak@gmail.com

Karshakov P.E. – Postgraduate Student, A.N. Kosygina (Technology. Design. Art), Moscow, e-mail: pkarshak@gmail.com

Воротников С.А. – кандидат технических наук, доцент кафедры РК9 Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: chistyakovia@gmail.com

Vorotnikov S.A. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of RK9, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: chistyakovia@gmail.com

Магомедрасулов К.О. – аспирант Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, e-mail: kurban.mr05@gmail.com

Magomedrasulov K.O. – Postgraduate Student, Dagestan State Technical University, Makhachkala, e-mail: kurban.mr05@gmail.com

Семедов М.А. – аспирант Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, e-mail: Adida827882@gmail.com

Semedov M.A. – Postgraduate Student, Dagestan State Technical University, Makhachkala, e-mail: Adida827882@gmail.com

Магомедов Д.А. – доктор технических наук, профессор кафедры биотехнических и медицинских аппаратов и систем Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, e-mail: kurban.mr05@gmail.com

Magomedov D.A. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Biotechnical and Medical Devices and Systems, Dagestan State Technical University, Makhachkala, e-mail: kurban.mr05@gmail.com

Мирземагомедов М.Р. – аспирант отдела математики и информатики Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, г. Махачкала, e-mail: kurban.mr05@gmail.com

Mirzemagomedov M.R. – Postgraduate Student, Department of Mathematics and Informatics, Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, e-mail: kurban.mr05@gmail.com

Малахов С.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: malakhov@psuti.ru

Malakhov S.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Information Security, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: malakhov@psuti.ru

Ким С.В. – студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: malakhov@psuti.ru

Kim S.V. – Student, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara,

e-mail: malakhov@psuti.ru

Закиров А.Ф. – студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: malakhov@psuti.ru

Zakirov A.F. – Student, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: malakhov@psuti.ru

Подопрелов К.И. – студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: malakhov@psuti.ru

Podoprelov K.I. – Student, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: malakhov@psuti.ru

Рогозина Н.Г. – аспирант Московского государственного технологического университета «Станкин», г. Москва, e-mail: fireru277@gmail.com

Rogozina N.G. – Postgraduate Student, Moscow State Technological University “Stankin”, Moscow, e-mail: fireru277@gmail.com

Елизеева Ю.В. – доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Московского государственного технологического университета «Станкин», г. Москва, e-mail: elyseeva@gmail.com).

Eliseeva Yu.V. – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Department of Applied Mathematics, Moscow State Technological University “Stankin”, Moscow, e-mail: elyseeva@gmail.com

Фокин В.М. – доктор технических наук, профессор кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, e-mail: vmfokin@bk.ru

Fokin V.M. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply, and Ventilation at the Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: vmfokin@bk.ru

Нестеренко С.В. – генеральный директор ООО «Волгограднефтепроект», г. Волгоград, e-mail: pto@vnp.ltd

Nesterenko S.V. – General Director of Volgogradnefteproekt LLC, Volgograd, e-mail: pto@vnp.ltd

Легкий А.Д. – старший преподаватель кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, e-mail: alegkii@mail.ru

Legky A.D. – Senior Lecturer, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply, and Ventilation, Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: alegkii@mail.ru

Усадский Д.Г. – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоснабжения, теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, e-mail: usadsky@bk.ru

Usadsky D.G. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Energy Supply, Heat Engineering, Heat and Gas Supply, and Ventilation, Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: usadsky@bk.ru

Коростелев С.С. – инженер ПТО ООО «КНХИиСК Севен», п. Усть-Луга Ленинградской обл., e-mail: SSnhlkorostelev17@yandex.ru

Korostelev S.S. – Engineer, Production and Technical Department, ООО КНННiСК Seven, Ust-Luga, Leningrad Region, e-mail: SSnhlkorostelev17@yandex.ru

Лapidус А.А. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва, e-mail: LapidusAA@mgsu.ru

Lapidus A.A. – Doctor of Engineering, Professor, Head of Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, e-mail: LapidusAA@mgsu.ru

Руденко А.А. – доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры организации строительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург, e-mail: ALrudenko@lan.spbgasu.ru

Rudenko A.A. – Doctor of Economics, Candidate of Science (Engineering), Professor, Department of Construction Organization, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, e-mail: ALrudenko@lan.spbgasu.ru

Сорокина Д.А. – проектировщик ООО «Ди Би Си Констракшн», г. Москва, e-mail: 12dashi4ko10@mail.ru

Sorokina D.A. – Designer, D.B.C. Construction LLC, Moscow, e-mail: 12dashi4ko10@mail.ru

Хубаев А.О. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета; ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра «Конструкции, технологии и организация строительства» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва, e-mail: alan_khubaev@mail.ru

Khubaev A.O. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering; Leading Researcher, Scientific and Educational Center “Structures, Technologies, and Organization of Construction,” National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, e-mail: alan_khubaev@mail.ru

Альсад К. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва, e-mail: alsadkareem1@gmail.com

Alsad K. – Master’s Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, e-mail: alsadkareem1@gmail.com

Румянцев И.С. – магистрант Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, г. Москва, e-mail: ilya.rumyantsev2000@mail.ru

Rumyantsev I.S. – Master’s Student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, e-mail: ilya.rumyantsev2000@mail.ru

Аникина М.А. – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии развития и консультирования Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: anikina-ma@yandex.ru

Anikina M.A. – Candidate of Science (Psychology), Associate Professor, Department of Developmental Psychology and Counseling, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: anikina-ma@yandex.ru

Бутенко В.Н. – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии развития и консультирования Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: verabutenko75@yandex.ru

Butenko V.N. – Candidate of Science (Psychology), Associate Professor, Department of

Developmental Psychology and Counseling, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: verabutenko75@yandex.ru

Авдеева Т.Г. – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии развития и консультирования Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: avd_2005_61@mail.ru

Avdeeva T.G. – Candidate of Science (Psychology), Associate Professor, Department of Developmental Psychology and Counseling, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: avd_2005_61@mail.ru

Винник Е.О. – студент Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: katvinnik04@mail.ru

Vinnik E.O. – Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: katvinnik04@mail.ru

Макеев С.А. – студент Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: makeeff03@mail.ru

Makeev S.A. – Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: makeeff03@mail.ru

Туранова Л.М. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационных технологий обучения и непрерывного образования Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: turanova@yandex.ru

Turanova L.M. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technologies in Education and Continuous Education, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: turanova@yandex.ru

Машанов А.А. – кандидат медицинских наук, доцент кафедры современных образовательных технологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск, e-mail: amashanov@sfu-kras.ru

Mashanov A.A. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Modern Educational Technologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: amashanov@sfu-kras.ru

Ануфриев К.С. – преподаватель кафедры физической культуры и спорта Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева, г. Саранск, e-mail: kiryaa.anufriev@mail.ru

Anufriev K.S. – Lecturer, Department of Physical Education and Sports, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: kiryaa.anufriev@mail.ru

Данилова Н.В. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры физической культуры и спорта Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева, г. Саранск, e-mail: kiryaa.anufriev@mail.ru

Danilova N.V. – Candidate of Science Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Education and Sports, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: kiryaa.anufriev@mail.ru

Будищева А.А. – студент Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: a.budischeva@mail.ru

Budishcheva A.A. – Student, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: a.budischeva@mail.ru

Никонова Н.И. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры методики преподавания русского языка и литературы Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: nikon_nad@mail.ru

Nikonova N.I. – Candidate of Science Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Methods of Teaching Russian Language and Literature, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: nikon_nad@mail.ru

Горбунова А.И. – студент Красноярского государственного педагогического университета имени В.П. Астафьева, г. Красноярск, e-mail: agorbunova05@gmail.com

Gorbunova A.I. – Student, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, Krasnoyarsk, e-mail: agorbunova05@gmail.com

Мосина Н.А. – кандидат психологических наук, доцент, заведующий кафедрой психологии и педагогики начального образования Красноярского государственного педагогического университета имени В.П. Астафьева, г. Красноярск, e-mail: mosina-do@kspu.ru

Mosina N.A. – Candidate of Science Psychology, Associate Professor, Head of the Department of Psychology and Pedagogy of Primary Education, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, Krasnoyarsk, e-mail: mosina-do@kspu.ru

Кладкин Н.Н. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры физвоспитания Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: kladkin@mail.ru

Kladkin N.N. – Candidate of Science Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Education, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: kladkin@mail.ru

Кладкина С.Н. – старший преподаватель кафедры менеджмента Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: lanakladkina@mail.ru

Kladkina S.N. – Senior Lecturer, Department of Management, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: lanakladkina@mail.ru

Куриной В.А. – аспирант Крымского инженерно-педагогического университета имени Февзи Якубова, г. Симферополь, e-mail: kurinnoj.s.i.2.16@gmail.com

Kurinnoy V.A. – Postgraduate student, Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol, e-mail: kurinnoj.s.i.2.16@gmail.com

Сейдаметова З.С. – доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики Крымского инженерно-педагогического университета имени Февзи Якубова, г. Симферополь, e-mail: kurinnoj.s.i.2.16@gmail.com

Seidametova Z.S. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Applied Informatics Department, Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol, e-mail: kurinnoj.s.i.2.16@gmail.com

Кучкова Л.А. – старший преподаватель кафедры физической культуры Омского государственного медицинского университета, г. Омск, e-mail: lilya_rasskazova@mail.ru

Kuchkova L.A. – Senior Lecturer, Department of Physical Education, Omsk State Medical University, Omsk, e-mail: lilya_rasskazova@mail.ru

Шредер А.Ю. – кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой физической культуры Омского государственного медицинского университета; доцент кафедры физической подготовки Омского автобронетанкового инженерного института, г. Омск, e-mail: ashreder@mail.ru

Schroeder A.Yu. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Physical Education Department, Omsk State Medical University; Associate Professor, Department of Physical Training, Omsk Armored Engineering Institute, Omsk, e-mail: ashreder@mail.ru

Кузнецова Н.С. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры физической культуры Омского государственного медицинского университета, доцент кафедры адаптивной и физической культуры Омского государственного университета имени Ф.М. Достоевского, г. Омск e-mail: pyatka@mail.ru

Kuznetsova N.S. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Education, Omsk State Medical University, Associate Professor, Department of Adaptive and Physical Education, F.M. Dostoevsky Omsk State University, Omsk, e-mail: pyatka@mail.ru

Цокур А.В. – студент Омского государственного медицинского университета, г. Омск, e-mail: alina.tsokur@yandex.ru

Tsokur A.V. – Student, Omsk State Medical University, Omsk, e-mail: alina.tsokur@yandex.ru

Медведев А.В. – кандидат психологических наук, профессор кафедры психологии и педагогики Белгородского юридического института МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, e-mail: a.medvedev.77@mail.ru

Medvedev A.V. – Candidate of Science (Psychology), Professor, Department of Psychology and Pedagogics, Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin, Belgorod, e-mail: a.medvedev.77@mail.ru

Астафьев К.А. – кандидат педагогических наук, профессор кафедры физической подготовки и спорта Воронежского института ФСИН России, г. Воронеж, e-mail: konstantin_as@mail.ru

Astafyev K.A. – Candidate of Science (Pedagogy), Professor, Department of Physical Fitness and Sports, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, e-mail: konstantin_as@mail.ru

Финикова О.В. – старший преподаватель кафедры психологии и педагогики Белгородского юридического института МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, e-mail: finikova.olga@mail.ru

Finikova O.V. – Senior Lecturer, Department of Psychology and Pedagogy, Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin, Belgorod, e-mail: finikova.olga@mail.ru

Тараканова А.А. – курсант Белгородского юридического института МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, e-mail: nastattarakanova@yandex.ru

Tarakanova A.A. – Cadet, Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin, Belgorod, e-mail: nastattarakanova@yandex.ru

Овчинникова П.Р. – аспирант Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, e-mail: america_100894@mail.ru

Ovchinnikova P.R. – Postgraduate Student, I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, e-mail: america_100894@mail.ru

Лавина Т.А. – доктор педагогических наук, профессор, член-корреспондент Академии информатизации образования, заведующий кафедрой компьютерных технологий Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, e-mail: america_100894@mail.ru

Lavina T.A. – Doctor of Education, Professor, Corresponding Member of the Academy of Informatization of Education, Head of the Department of Computer Technologies, I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, e-mail: america_100894@mail.ru

Пяшкур Ю.С. – доцент кафедры коррекционной педагогики и специальной психологии Шадринского государственного педагогического университета, г. Шадринск, e-mail: dolgix_y-1485@mail.ru

Pyashkur Yu.S. – Associate Professor, Department of Correctional Pedagogics and Special Psychology,

Shadrinsk State Pedagogical University, Shadrinsk, e-mail: dolgix_y-1485@mail.ru

Пономарева Л.И. – доктор педагогических наук, профессор кафедры теории и методики дошкольного и начального образования Шадринского государственного педагогического университета, г. Шадринск, e-mail: ldm1020@mail.ru

Ponomareva L.I. – Doctor of Education, Professor, Department of Theory and Methodology of Preschool and Primary Education, Shadrinsk State Pedagogical University, Shadrinsk, e-mail: ldm1020@mail.ru

Северьянова М.И. – кандидат педагогических наук, доцент Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: marianna.severyanova@svfu.ru

Severyanova M.I. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: marianna.severyanova@svfu.ru

Тянь Лун – магистрант Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: 230803200206197059@qq.com

Tian Lung – Master's Student, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: 230803200206197059@qq.com

Чжан Сюэлинь – аспирант, старший преподаватель Хэйхэского университета, г. Хэйхэ (Китай), e-mail: 509871631@qq.com

Zhang Xuelin – Postgraduate Student, Senior Lecturer, Heihe University, Heihe (China), e-mail: 509871631@qq.com

Ван Цзяньли – кандидат наук, старший преподаватель Пекинского университета языка и культуры, г. Пекин (Китай), e-mail: 509871631@qq.com

Wang Jianli – PhD, Senior Lecturer, Beijing Language and Culture University, Beijing (China), e-mail: 509871631@qq.com

Баишев И.И. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры национальных видов спорта, медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: Grigorevaanita2020@mail.ru

Baishev I.I. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of National Sports, Medical and Biological Disciplines, and Life Safety, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: Grigorevaanita2020@mail.ru

Шергин Г.Н. – старший преподаватель кафедры национальных видов спорта, медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: Grigorevaanita2020@mail.ru

Shergin G.N. – Senior Lecturer, Department of National Sports, Medical and Biological Disciplines, and Life Safety, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: Grigorevaanita2020@mail.ru

Григорьева А.Г. – студент Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: Grigorevaanita2020@mail.ru

Grigorieva A.G. – Student, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: Grigorevaanita2020@mail.ru

Батищев В.Н. – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии Московского ордена Почета университета МВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва, e-mail: batishevvladimir@mail.ru

Batishchev V.N. – Candidate of Science (Psychology), Associate Professor, Department of Psychology, Moscow Order of Honor University of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after V.Ya. Kikot, Moscow, e-mail: batishevvladimir@mail.ru

Кочнев В.А. – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии Московского ордена Почета университета МВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва, e-mail: kvadar@mail.ru

Kochnev V.A. – Candidate of Science Psychology, Associate Professor, Department of Psychology, Moscow Order of Honor University of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after V.Ya. Kikot, Moscow, e-mail: kvadar@mail.ru

Охотников Ю.М. – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии Московского ордена Почета университета МВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва, e-mail: ohotnikov_ym@mail.ru

Okhotnikov Yu.M. – Candidate of Science Psychology, Associate Professor, Department of Psychology, Moscow Order of Honor University of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after V.Ya. Kikot, Moscow, e-mail: ohotnikov_ym@mail.ru

Чайникова Р.В. – курсант Московского ордена Почета университета МВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва, e-mail: renatka.chai@gmail.com

Chaynikova R.V. – Cadet, Moscow Order of Honor University of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after V.Ya. Kikot, Moscow, e-mail: renatka.chai@gmail.com

Днепров Е.А. – главный редактор журнала «Муниципальное образование: инновации и эксперимент», г. Москва, e-mail: 9653244543@mail.ru

Dneprova E.A. – Editor-in-Chief, Journal “Municipal Education: Innovations and Experiments”, Moscow, e-mail: 9653244543@mail.ru

Сморчкова В.П. – доктор педагогических наук, профессор Государственного университета просвещения, г. Москва, e-mail: valenta-sm@rambler.ru

Smorchkova V.P. – Doctor of Education, Professor, State University of Education, Moscow, e-mail: valenta-sm@rambler.ru

Комарова Н.А. – кандидат биологических наук, доцент кафедры физической культуры и спорта Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева, г. Саранск, e-mail: ninasm@bk.ru

Komarova N.A. – Candidate of Science (Biology), Associate Professor, Department of Physical Education and Sports, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: ninasm@bk.ru

Пьянзова Е.Г. – старший преподаватель кафедры физической культуры и спорта Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева, г. Саранск, e-mail: Pyanzova@mail.ru

Pyanzova E.G. – Senior Lecturer, Department of Physical Education and Sports, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: Pyanzova@mail.ru

Молодых Е.А. – кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков Воронежского государственного университета инженерных технологий, г. Воронеж, e-mail: molina39@yandex.ru

Molodykh E.A. – Candidate of Science (Philology), Associate Professor, Department of Foreign Languages, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, e-mail:

molina39@yandex.ru

Павлова С.В. – кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков Воронежского государственного университета инженерных технологий, г. Воронеж, e-mail: paveta23@yandex.ru

Pavlova S.V. – Candidate of Science (Philology), Associate Professor, Department of Foreign Languages, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, e-mail: paveta23@yandex.ru

Сафонова В.Ю. – доктор биологических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, физической культуры и методики преподавания безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного педагогического университета, г. Оренбург, e-mail: viktoriasafonova@bk.ru

Safonova V.Yu. – Doctor of Biology, Professor, Department of Life Safety, Physical Education, and Methods of Teaching Life Safety, Orenburg State Pedagogical University, Orenburg, e-mail: viktoriasafonova@bk.ru

Акимова Л.А. – доктор педагогических наук, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, физической культуры и методики преподавания безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного педагогического университета, г. Оренбург, e-mail: lubovakimova@yandex.ru

Akimova L.A. – Doctor of Education, Head of Department of Life Safety, Physical Education, and Methods of Teaching Life Safety, Orenburg State Pedagogical University, Orenburg, e-mail: lubovakimova@yandex.ru

Чалкин Д.В. – кандидат военных наук, заместитель начальника кафедры зенитных ракетных систем ближнего действия ВУЦ при Московском авиационном институте, г. Москва, e-mail: chalkindv@mail.ru

Chalkin D.V. – Candidate of Military Sciences, Deputy Head of Department of Short-Range Anti-Aircraft Missile Systems, Military Training Center of the Moscow Aviation Institute, Moscow, e-mail: chalkindv@mail.ru

Кан И.П. – начальник кафедры зенитных ракетных систем ближнего действия ВУЦ при Московском авиационном институте, г. Москва, e-mail: ipkan@mail.ru

Kan I.P. – Head of Department of Short-Range Anti-Aircraft Missile Systems, Military Training Center of the Moscow Aviation Institute, Moscow, e-mail: ipkan@mail.ru

Шавлов А.В. – кандидат технических наук, профессор кафедры теории и методики управления авиацией филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Челябинск, e-mail: shavlov69@mail.ru

Shavlov A.V. – Candidate of Science (Engineering), Professor, Department of Theory and Methodology of Aviation Control, Branch of the Military Training and Scientific Center of the Air Force “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”, Chelyabinsk, e-mail: shavlov69@mail.ru

Бубин М.Н. – кандидат географических наук, доцент кафедры теории и методики управления авиацией филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Челябинск, e-mail: mikhaibubin@list.ru

Bubin M.N. – Candidate of Science (Geography), Associate Professor, Department of Theory and Methodology of Aviation Control, Branch of the Military Training and Scientific Center of the Air Force

“Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”, Chelyabinsk, e-mail: mikhailbubin@list.ru

Хохотва С.В. – доцент кафедры теории и методики управления авиацией филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Челябинск, e-mail: hoha444@mail.ru

Khokhotva S.V. – Associate Professor, Department of Aviation Management Theory and Methodology, Branch of the Military Educational and Scientific Center of the Air Force “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”, Chelyabinsk, e-mail: hoha444@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ
SCIENCE PROSPECTS
№ 6(201).2026.
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Подписано в печать 22.06.2026 г.
Дата выхода в свет 29.06.2026 г.
Формат журнала 60×84/8
Усл. печ. л. 31,62. Уч.-изд. л. 21,45.
Тираж 1000 экз.
Цена 300 руб.
16+
Издательский дом ООО «НТФ РИМ».