



ИД «Академия Естествознания»

СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

№ 5 2025

/// — /// — ///

MODERN HIGH TECHNOLOGIES

Scientific journal

No. 5 2025



PH Academy of Natural History

Современные наукоемкие технологии

Научный журнал

Журнал издается с 2003 года.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. **Свидетельство – ПИ № ФС 77-63399.**

«Современные наукоемкие технологии» – рецензируемый научный журнал, в котором публикуются статьи, обладающие научной новизной, представляющие собой результаты завершённых исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.

Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ). **K1.**

Журнал ориентирован на ученых, преподавателей, инженерно-технических специалистов, сотрудников информационных технологий и информатики, использующих в своих исследованиях междисциплинарный подход. Авторы журнала уделяют особое внимание методологии преподавания технических дисциплин.

Основные научные направления: 1.2. Компьютерные науки и информатика, 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации, 2.5. Машиностроение, 5.8. Педагогика.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Технический редактор

Доронкина Е.Н.

Корректор

Галенкина Е.С.,

Дудкина Н.А.

д.т.н., проф. Айдовос А. (Алматы); д.г.м.н., проф. Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф. Алоев В.З. (Нальчик); д.т.н., доцент, Аршинский Л.В. (Иркутск); д.т.н., проф. Ахтулов А.Л. (Омск); д.т.н., проф. Баёв А.С. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Баубеков С.Д. (Тараз); д.т.н., проф. Беззубцева М.М. (Санкт-Петербург); д.п.н., проф. Безрукова Н.П. (Красноярск); д.т.н., доцент, Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.т.н., доцент, Бессонова Л.П. (Воронеж); д.п.н., доцент, Бобыкина И.А. (Челябинск); д.г.м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.п.н., проф. Бутов А.Ю. (Москва); д.т.н., доцент, Быстров В.А. (Новокузнецк); д.г.м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.т.н., проф. Герман-Галкин С.Г. (Щецин); д.т.н., проф. Германов Г.Н. (Москва); д.т.н., проф. Горбатюк С.М. (Москва); д.т.н., проф. Гоц А.Н. (Владимир); д.п.н., проф. Далингер В.А. (Омск); д.псх.н., проф. Долгова В.И. (Челябинск); д.э.н., проф. Делятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.псх.н., проф. Дубовицкая Т.Д. (Сочи); д.т.н., доцент, Дубровин А.С. (Воронеж); д.п.н., доцент, Евтушенко И.В. (Москва); д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.т.н., проф. За-вращнов А.И. (Мичуринск); д.п.н., доцент, Загребский О.И. (Томск); д.т.н., проф. Ибраев И.К. (Караганда); д.т.н., проф. Иванова Г.С. (Москва); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.ф.м.н., проф. Ижуткин В.С. (Москва); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.п.н., проф. Качалова Л.П. (Шадринск); д.псх.н., доцент, Кибальченко И.А. (Таганрог); д.п.н., проф. Клемантович И.П. (Москва); д.п.н., проф. Козлов О.А. (Москва); д.т.н., проф. Козлов А.М. (Липецк); д.т.н., доцент, Козловский В.Н. (Самара); д.т.н., доцент, Красновский А.Н. (Москва); д.т.н., проф. Крупенин В.Л. (Москва); д.т.н., проф. Кузьякина В.В. (Владивосток); д.т.н., доцент, Кузьяков О.Н. (Тюмень); д.т.н., проф. Куликовская И.Э. (Ростов-на-Дону); д.т.н., проф. Лавров Е.А. (Суми); д.т.н., доцент, Ландэ Д.В. (Киев); д.т.н., проф. Леонтьев Л.Б. (Владивосток); д.ф.м.н., доцент, Ломазов В.А. (Белгород); д.т.н., проф. Ломакина Л.С. (Нижний Новгород); д.т.н., проф. Лубенцов В.Ф. (Краснодар); д.т.н., проф. Мадера А.Г. (Москва); д.т.н., проф. Макаров В.Ф. (Пермь); д.п.н., проф. Марков К.К. (Иркутск); д.п.н., проф. Матис В.И. (Барнаул); д.г.м.н., проф. Мельников А.И. (Иркутск); д.п.н., проф. Микерова Г.Ж. (Краснодар); д.п.н., проф. Моисеева Л.В. (Екатеринбург); д.т.н., проф. Мурашкина Т.И. (Пенза); д.т.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.т.н., проф. Надеждин Е.Н. (Тула); д.ф.м.н., проф. Никонов Э.Г. (Дубна); д.т.н., проф. Носенко В.А. (Волгоград); д.т.н., проф. Осипов Г.С. (Южно-Сахалинск); д.т.н., проф. Пен РЗ. (Красноярск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., проф. Петрова И.Ю. (Астрахань); д.т.н., проф. Пивень В.В. (Тюмень); д.э.н., проф. Потышняк Е.Н. (Харьков); д.т.н., проф. Пузырьков А.Ф. (Москва); д.п.н., проф. Рахимбаева И.Э. (Саратов); д.п.н., проф. Резанович И.В. (Челябинск); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.т.н., проф. Рогов В.А. (Москва); д.т.н., проф. Санинский В.А. (Волжский); д.т.н., проф. Сердобинцев Ю.П. (Волгоградский); д.э.н., проф. Сихимбаев М.Р. (Караганда); д.т.н., проф. Скрыпник О.Н. (Иркутск); д.п.н., проф. Собянин Ф.И. (Белгород); д.т.н., проф. Страбыкин Д.А. (Киров); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ф.м.н., проф. Тактаров Н.Г. (Саранск); д.п.н., доцент, Тутолмин А.В. (Глазов); д.т.н., проф. Умбетов У.У. (Кызылорда); д.м.н., проф. Фесенко Ю.А. (Санкт-Петербург); д.п.н., проф. Хола Л.Д. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Часовских В.П. (Екатеринбург); д.т.н., проф. Ченцов С.В. (Красноярск); д.т.н., проф. Червяков Н.И. (Ставрополь); д.т.н., проф. Шалумов А.С. (Ковров); д.т.н., проф. Шарафеев И.Ш. (Казань); д.т.н., проф. Шишков В.А. (Самара); д.т.н., проф. Шипицын А.Г. (Челябинск); д.т.н., проф. Яблокова М.А. (Санкт-Петербург); к.т.н., доцент, Хайдаров А.Г. (Санкт-Петербург)

ISSN 1812–7320

Электронная версия: top-technologies.ru/ru

Правила для авторов: top-technologies.ru/ru/rules/index

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,940

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,355

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

30.05.2025

Дата выхода номера

30.06.2025

Формат

60х90 1/8

Усл. печ. л.

29,4

Тираж

1000 экз.

Заказ

СНТ 2025/5

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: ПА037

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Modern high technologies Scientific journal

The journal has been published since 2003.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications. **Certificate – PI No. FS 77-63399.**

"Modern high technologies" is a peer-reviewed scientific journal that publishes articles with scientific novelty, representing the results of completed research, problematic or scientific-practical character, scientific reviews.

The journal is included in the current List of peer-reviewed scientific publications (**HCC RF**). **K1.**

The journal is oriented to scientists, teachers, engineering and technical specialists, employees of information technology and computer science, using an interdisciplinary approach in their research. The authors of the journal pay special attention to the methodology of teaching technical disciplines.

Main scientific directions: 1.2. Computer Science and Informatics, 2.3. Information technologies and telecommunications, 2.5. Engineering, 5.8. Pedagogy.

CHIEF EDITOR

Ledvanov Mikhail Yurievich, Dr. Sci. (Medical), Prof.

Technical editor

Doronkina E.N.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

Corrector

Galenkina E.S.,

EDITORIAL BOARD

Dudkina N.A.

D.Sc., Prof. A. Aidosov (Almaty); D.Sc., Prof. S.V. Alekseev (Irkutsk); D.Sc., Prof. V.Z. Aloeov (Nalchik); D.Sc., Docent L.V. Arshinsky (Irkutsk); D.Sc., Prof. A.L. Akhtulov (Omsk); D.Sc., Prof. A.S. Bajov (St. Petersburg); D.Sc., Prof. S.D. Baubekov (Taraz); D.Sc., Prof. M.M. Bezzubtseva (St. Petersburg); D.Sc., Prof. N.P. Bezrukova (Krasnoyarsk); D.Sc., Docent V.V. Belozero (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent Bessonova L.P. (Voronezh); D.Sc., Docent Bobykina I.A. (Chelyabinsk); D.Sc., Prof. Bondarev V.I. (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. Butov A.Y. (Moscow); D.Sc., Docent Bystrov V.A. (Novokuznetsk); D.Sc., Docent Bystrov V.A. (Novokuznetsk); D.Sc., Docent Gavrilov V.I. (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. Gavrilov V.I. (Moscow); D.Sc., Prof. Bystrov V.A. (Novokuznetsk); D.Sc., Prof. A.I. Gavrishin (Novocherkassk); D.Sc., Prof. S.G. Germanov-Galkin (Szczecin); D.Sc., Prof. G.N. Germanov (Moscow); D.Sc., Prof. S.M. Gorbatyuk (Moscow); D.Sc., Prof. A.N. Gotz (Vladimir); D.Sc., Prof. Dalinger V.A. (Omsk); D.Sc., Prof. Dolgova V.I., (Chelyabinsk); D.Sc., Prof. Dolyatovsky V.A. (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. A.F. Dresvyannikov (Kazan); D.Sc., Prof. T.D. Dubovitskaya (Sochi); D.Sc., Docent I.V. Evtushenko (Moscow); D.Sc., Prof. N.F. Efremova (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. A.I. Zavrazhnov (Michurinsk); D.Sc., Docent O.I. Zagrevsky (Tomsk); D.Sc., Prof. Izhutkin V.S. (Moscow); D.Sc., Docent Kibalchenko I.A. (Taganrog); D.Sc., Prof. Klemantovich I.P. (Moscow); D.Sc., Prof. Kozlov O.A. (Moscow); D.Sc., Prof. A.M. Kozlov (Lipetsk); D.Sc., Prof. Kuzlyakina V.V. (Vladivostok); D.Sc., Docent Kuzyakov O.N. (Tyumen); D.Sc., Prof. Kulikovskaya I.E. (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. E.A. Lavrov (Sumi); D.Sc., Docent D.V. Lande (Kiev); D.Sc., Prof. L.B. Leontiev (Vladivostok); D.Sc., Docent V.A. Lomazov (Belgorod); D.Sc., Prof. L.S. Lomakina (Nizhny Novgorod); D.Sc., Prof. V.F. Lubentsov (Krasnodar); D.Sc., Prof. A.G. Madera (Moscow); D.Sc., Prof. V.F. Makarov (Perm); D.Sc., Prof. K.K. Markov (Irkutsk); D.Sc., Prof. V.I. Matis (Barnaul); D.Sc., Prof. A.I. Melnikov (Irkutsk); D.Sc., Prof. G.J. Mikerova (Krasnodar); D.Sc., Prof. L.V. Moiseeva (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. T.I. Murashkina (Penza); D.Sc., Prof. V.K. Musaev (Moscow); D.Sc., Prof. E.N. Nadezhdin (Tula); D.Sc., Prof. E.G. Nikonov (Dubna); D.Sc., Prof. V.A. Nosenko (Volgograd); D.Sc., Prof. G.S. Osipov (Yuzhno-Sakhalinsk); D.Sc., Prof. R.Z. Pen (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. M.N. Petrov (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. I.Y. Petrova (Astrakhan); D.Sc., Prof. Piven V.V. (Tyumen); D.Sc., Prof. Potyshnyak E.N. (Kharkov); D.Sc., Prof. Puzryakov A.F. (Moscow); D.Sc., Prof. Rakhimbaeva I.E. (Saratov); D.Sc., Prof. Rezanovich I.V. (Chelyabinsk); D.Sc., Prof. A.F. Rogachev (Volgograd); D.Sc., Prof. Sikhimbaev M.R. (Karaganda); D.Sc., Prof. Skrypnik O.N. (Irkutsk); D.Sc., Prof. Sobyanin F.I. (Belgorod); D.Sc., Prof. Strabykin D.A. (Kirov); D.Sc., Prof. Sugak E.V. (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. N.G. Taktarov (Saransk); D.Sc., Docent A.V. Tutolmin (Glazov); D.Sc., Prof. U.U. Umbetov (Kyzylorda); D.Sc., Prof. Fesenko Y.A. (St. Petersburg); D.Sc., Prof. Khoda L.D. (Neryungri); D.Sc., Prof. Chasovskikh V.P. (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. Chentsov S.V. (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. Chervakov N.I. (Stavropol); D.Sc., Prof. A.G. Shchipsitsyn (Chelyabinsk); D.Sc., Prof. M.A. Yablokova (St. Petersburg); Cand.Sc., Docent A.G. Khaidarov (St. Petersburg)

ISSN 1812–7320

Electronic version: top-technologies.ru/ru

Rules for authors: top-technologies.ru/ru/rules/index

Impact-factor RISQ (two-year) = 0,940

Impact-factor RISQ (five-year) = 0,355

Periodicity

12 issues per year

Founder, publisher and editors

LLC PH Academy of Natural History

Mailing address

105037, Moscow, p.o. box 47

Editorial and publisher address

440026, Penza, st. Lermontov, 3

Printing

LLC SPC Academy of Natural History
410035, Saratov, st. Mamontova, 5

E-mail

edition@rae.ru

Telephone

+7 (499) 705-72-30

Signed for print

30.05.2025

Number issue date

30.06.2025

Format

60x90 1/8

Conditionally printed sheets

29,4

Circulation

1000 copies

Order

CHT 2025/5

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: PA037

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (1.2.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.3, 2.5.5, 2.5.7, 2.5.8)

СТАТЬИ

КОНТЕКСТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ СЛОЯ АБСТРАКТНЫХ ОПЕРАТОРОВ <i>Аллатов А.Н.</i> 10 ОПТИМАЛЬНАЯ МАРКИРОВКА ЗНАЧЕНИЙ КАТЕГОРИАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ С ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ ФУНКЦИЕЙ ПОЛ <i>Базилевский М.П.</i> 22 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛИНГВИСТИКИ: АНАЛИЗ ОТЗЫВОВ О ТОРГОВЫХ СЕТЯХ <i>Ванюлин А.Н., Алексеева Н.Р.</i> 27 ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВ ОПРЕДЕЛЕННОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ В ЕСТЕСТВЕННО- ЯЗЫКОВЫХ ПОТОКАХ <i>Вишняков Ю.М., Вишняков Р.Ю.</i> 32 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИТЕРАЦИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЛНОГО ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Воробьев М.С., Орехов В.А., Бобков В.И., Быков А.А.</i> 41 ЗАДАЧИ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТЫ РОБОТОВ-ЛАБОРАНТОВ <i>Калинин В.Ф., Погонин В.А.</i> 48 СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ <i>Малецкая М.В.</i> 55 ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ: МЕТОДОЛОГИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ ВНЕДРЕНИЯ <i>Масягина Н.И., Зорина О.А., Харламов Д.А.</i> 61 МНОГОФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПРИБОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ <i>Самерханов И.З.</i> 68 ИЗНОСОСТОЙКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА <i>Сергеева Е.А., Хубатхузин А.А., Даловский К.Д.</i> 74 МЕТОД ПЕРЕНАЛАДКИ МОБИЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПОД ИЗМЕНЯЕМЫЕ УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА <i>Холопов В.А., Макаров М.А., Копытова Е.В.</i> 80	
---	--

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ «ВИРТУАЛЬНЫЙ РЕЛЬС»
В ПЕРЕГРУЗОЧНОМ ПОРТОВОМ КОМПЛЕКСЕ

Чжуан С., Шаветов С.В., Лу Ц. 91

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕДОПУСТИМЫХ ДВИЖЕНИЙ
В ВИДЕОПОТОКЕ

Шустова Е.П. 97

МЕТОДИКА АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Юмашев Е.А. 107

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
УРАВНЕНИЯ В ДВОИЧНОЙ И ТРОИЧНОЙ СБАЛАНСИРОВАННОЙ
СИСТЕМАХ СЧИСЛЕНИЯ

Юрьев Г.К., Гиниятуллин В.М., Блинова Д.В. 113

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

ИНСТРУМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ В НАУКЕ О ДАННЫХ

Горбунов В.И., Салимов Т.А., Горбань Е.В. 119

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ
ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА В СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННЫХ КОТЛОАГРЕГАТАХ

Русинов Л.А., Прылипко Е.С., Ковалев Д.А. 127

Педагогические науки (5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.8.7)

СТАТЬИ

ДИАГНОСТИКА УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ СОЦИАЛЬНО-
БЫТОВЫХ НАВЫКОВ У ДЕТЕЙ СТАРШЕГО ДОШКОЛЬНОГО
ВОЗРАСТА С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Барцаева Е.В. 136

КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕДАГОГА-ПСИХОЛОГА

Бекова М.И. 143

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ
ПРАЗДНИЧНОЙ КУЛЬТУРЫ ПОДРОСТКОВ В УСЛОВИЯХ
СЕЛЬСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ КУЛЬТУРЫ

Васильева Е.Н., Сариева М.В. 149

ТЕХНОЛОГИЯ СНАТGPT-40 КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ
ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ
ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Вишленкова С.Г. 156

СТРУКТУРА И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ IT-НАВЫКОВ ПОДРОСТКОВ
В ОНЛАЙН-ШКОЛЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Галимуллин Н.Р. 165

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА В ОБУЧЕНИИ ИСПАНСКОМУ ЯЗЫКУ

Должич Е.А., Дмитриченкова С.В. 170

МЕТОДИКА РАЗВИТИЯ СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ РЕФЛЕКСИИ
У БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Дрейцер С.И. 176

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА В ВЫСШЕМ МУЗЫКАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Дубровский В.В., Горбик Я.А. 182

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ
МОТОРНОЙ СФЕРЫ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ
С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

Евтушенко И.В., Евтушенко А.И. 188

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКУССИОННЫХ ФОРМ РАБОТЫ
В ОБУЧЕНИИ МОНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕЧИ СТУДЕНТОВ
НЕЯЗЫКОВЫХ ФАКУЛЬТЕТОВ ВУЗА

Ильин А.Е. 194

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ
ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В 5-Х КЛАССАХ

Лазутова Л.А., Кулягина Н.С. 200

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩЕГО
УЧИТЕЛЯ БИОЛОГИИ НА ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Мирнова М.Н. 208

ТИПЫ ЗАДАНИЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО РУССКОМУ
ЯЗЫКУ И ЛИТЕРАТУРЕ: ИЗ ОПЫТА РАЗРАБОТКИ

Олесова А.П. 216

ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ
ЦИФРОВОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ
ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Цыбанёва В.А., Серединцева А.С., Малетина О.А. 223

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ КУРСАНТОВ
ВОЕННОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА ВУЗА НА ОСНОВЕ
ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

Шартдинов А.Ш. 231

CONTENTS

Technical sciences (1.2.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.5.3, 2.5.5, 2.5.7, 2.5.8)

ARTICLES

CONTEXT-ORIENTED ARCHITECTURE FOR THE INTEGRATION
OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS BASED
ON AN ABSTRACT OPERATOR LAYER

Alpatov A.N. 10

OPTIMAL MARKING OF CATEGORICAL DEPENDENT VARIABLE
VALUES WHEN CONSTRUCTING REGRESSION MODELS USING
INTEGER FLOOR FUNCTION

Bazilevskiy M.P. 22

DETERMINATION OF THE TONALITY OF TEXTS BY
COMPUTATIONAL LINGUISTICS METHODS: ANALYZING
REVIEWS ABOUT RETAIL CHAINS

Vanyulin A.N., Alekseeva N.R. 27

SEARCH AND IDENTIFICATION OF TEXTS WITH A SPECIFIC
SEMANTIC ORIENTATION IN NATURAL LANGUAGE STREAMS

Vishnyakov Yu.M., Vishnyakov R.Yu. 32

THE USE OF THE ITERATION METHOD FOR CALCULATING
COMPLETE FUEL COMBUSTION IN BLAST FURNACES
OF IRON AND STEEL ENTERPRISES

Vorobyov M.S., Orekhov V.A., Bobkov V.I., Bykov A.A. 41

PROBLEMS OF NONLINEAR PROGRAMMING IN PLANNING
THE WORK OF ROBOTIC LABORATORY ASSISTANTS

Kalinin V.F., Pogonin V.A. 48

COMPARISON OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ALGORITHMS
FOR 3D MODEL GENERATION

Maletskaya M.V. 55

DIGITALIZATION OF MANAGEMENT PROCESSES IN CONSTRUCTION
ORGANIZATIONS: METHODOLOGY AND IMPLEMENTATION TOOLS

Masyagina N.I., Zorina O.A., Kharlamov D.A. 61

MULTIPHASE QUEUING SYSTEMS WITH HETEROGENEOUS SERVERS

Samerkhanov I.Z. 68

WEAR-RESISTANT MATERIAL BASED ON ULTRA-HIGH MOLECULE
WEIGHT POLYETHYLENE

Sergeeva E.A., Khubatkhuzin A.A., Dalovskiy K.D. 74

METHOD OF RESETTING MOBILE COMPONENTS OF ROBOTIC
TECHNOLOGICAL COMPLEXES FOR CHANGING PRODUCTION
CONDITIONS

Kholopov V.A., Makarov M.A., Kopytova E.V. 80

ORGANIZATION OF THE «VIRTUAL RAIL» TECHNOLOGY IN THE TRANSSHIPMENT PORT COMPLEX

Zhuang Xintong, Shavetov S.V., Lu Jiangwen 91

ALGORITHM FOR DETECTING UNACCEPTABLE MOVEMENTS IN A VIDEO STREAM

Shustova E.P. 97

METHOD FOR ANALYZING AND PROCESSING TIME SERIES OF METEOROLOGICAL DATA

Yumashev E.A. 107

ESTIMATION OF THE ERROR IN SOLVING A DIFFERENTIAL EQUATION IN BINARY AND TERNARY BALANCED NUMBER SYSTEMS

Yurev G.K., Giniyatullin V.M., Blinova D.V. 113

REVIEWS

AUTOMATION TOOLS FOR ENSURING REPRODUCIBLE RESEARCH IN DATA SCIENCE

Gorbunov V.I., Salimov T.A., Gorban E.V. 119

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC AND CONTROL SYSTEMS FOR THE BLACK LIQUOR COMBUSTION PROCESS IN RECOVERY BOILERS

Rusinov L.A., Prylipko E.S., Kovalev D.A. 127

Pedagogical sciences (5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.8.7)

ARTICLES

DIAGNOSIS OF THE LEVEL OF FORMATION OF SOCIAL AND HOUSEHOLD SKILLS IN OLDER PRESCHOOL CHILDREN WITH DISABILITIES

Bartsaeva E.V. 136

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE RESEARCH METHODS IN THE ACTIVITIES OF A TEACHER-PSYCHOLOGIST

Bekoeva M.I. 143

THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODEL OF THE FORMATION OF THE FESTIVE CULTURE OF ADOLESCENTS IN RURAL CULTURAL INSTITUTIONS

Vasileva E.N., Sarieva M.V. 149

CHATGPT-4O TECHNOLOGY AS A MEANS OF FORMING THE LINGUISTIC COMPETENCE OF FUTURE FOREIGN LANGUAGE TEACHERS

Vishlenkova S.G. 156

STRUCTURE AND CRITERIA FOR ASSESSING TEENAGERS' IT SKILLS AT THE ONLINE PROGRAMMING SCHOOL

Galimullin N.R. 165

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES
IN TEACHING SPANISH LANGUAGE

Dolzhih E.A., Dmitrichenkova S.V. 170

METHOD OF ESSENTIAL REFLECTION DEVELOPING
IN FUTURE TEACHERS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE
TECHNOLOGIES

Dreytser S.I. 176

DIRECTIONS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN HIGHER MUSICAL EDUCATION

Dubrovsky V.V., Gorbik Ya.A. 182

FEATURES OF A COMPREHENSIVE STUDY OF THE MOTOR
SPHERE OF PRIMARY SCHOOL STUDENTS WITH MENTAL
RETARDATION

Evtushenko I.V., Evtushenko A.I. 188

TEACHING ENGLISH MONOLOGUE TO UNIVERSITY
STUDENTS OF NON-LINGUISTIC FACULTIES
WITH THE HELP OF DISCUSSION FORMS OF WORK

Ilin A.E. 194

THE POSSIBILITIES OF USING NEURAL NETWORKS
WHEN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE IN GRADES 5

Lazutova L.A., Kulyagina N.S. 200

FORMATION OF METHODOLOGICAL COMPETENCES
OF A FUTURE BIOLOGY TEACHER IN PEDAGOGICAL
PRACTICE IN THE CONDITIONS OF A DIGITAL
EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Mirnova M.N. 208

TYPES OF TASKS IN THE DISTANCE OLYMPIAD IN RUSSIAN
LANGUAGE AND LITERATURE: FROM THE EXPERIENCE
OF DEVELOPMENT

Olesova A.P. 216

A FOREIGN LANGUAGE AS A MEANS OF DEVELOPING
THE DIGITAL COMPETENCE OF FUTURE FOREIGN
LANGUAGE TEACHERS

Tsybaneva V.A., Seredintseva A.S., Maletina O.A. 223

PEDAGOGICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION
OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF CADETS
OF THE MILITARY TRAINING CENTER OF THE UNIVERSITY
BASED ON INTERACTIVE LEARNING TECHNOLOGIES

Shartdinov A.Sh. 231

СТАТЬИ

УДК 004.42

DOI 10.17513/snt.40384

**КОНТЕКСТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА
ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
НА ОСНОВЕ СЛОЯ АБСТРАКТНЫХ ОПЕРАТОРОВ****Алпатов А.Н.***ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
Москва, e-mail: aleksej01-91@mail.ru*

Быстрое развитие технологий искусственного интеллекта, а также широкое распространение облачных вычислений стимулируют внедрение интеллектуальных модулей в различные сферы. Однако включение систем искусственного интеллекта в состав распределённых программных систем сопровождается существенными затруднениями, связанными с отсутствием унифицированных подходов к их интеграции. Целью данной работы является разработка контекстно-ориентированной архитектуры интеграции систем искусственного интеллекта, обеспечивающей снижение сложности сопряжения интеллектуальных модулей с прикладной логикой распределённых программных систем. В работе проведён анализ существующих архитектурных решений, формализована модель интеграции с использованием отображений между задачами, операциями и моделями, а также предложен механизм описания задач в виде операторного графа. Также предложен подход к построению интеграционной архитектуры для систем искусственного интеллекта, основанный на использовании программного шлюза с поддержкой контекстно-ориентированного взаимодействия. Основным ключевым элементом решения является абстрактный слой операторов, который позволяет отделить описание задачи от конкретных моделей и тем самым существенно снизить связность системы. Предложенное решение ориентировано на поддержку моделей различных типов (языковых, визуальных и других) и обеспечивает прозрачную маршрутизацию запросов и возможность масштабирования в условиях распределённой вычислительной среды. В работе отдельно отмечено, что достижение соответствующих характеристик подхода возможно при реализации стандартизированного набора операторов. Представленный подход обеспечивает требуемую масштабируемость архитектуры интеграции систем искусственного интеллекта и может служить основой для построения универсальных интеграционных решений.

Ключевые слова: искусственный интеллект, программный шлюз, контекстное взаимодействие, интеграция систем, распределённая архитектура, семантическая маршрутизация

**CONTEXT-ORIENTED ARCHITECTURE FOR THE INTEGRATION
OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS BASED
ON AN ABSTRACT OPERATOR LAYER****Alpatov A.N.***MIREA – Russian Technological University, Moscow, e-mail: aleksej01-91@mail.ru*

The rapid development of artificial intelligence technologies and the widespread use of cloud computing stimulate the introduction of intelligent modules in various spheres. However, the inclusion of artificial intelligence systems in distributed software systems is accompanied by significant difficulties associated with the lack of unified approaches to their integration. The purpose of this paper is to develop a context-oriented architecture for integration of artificial intelligence systems, which reduces the complexity of interfacing intelligent modules with the application logic of distributed software systems. The paper analyzes existing architectural solutions, formalizes the integration model using mappings between tasks, operations and models, and proposes a mechanism for describing tasks in the form of an operator graph. We also propose an approach to building an integration architecture for artificial intelligence systems based on the use of a software gateway with support for context-oriented interaction. The main key element of the solution is an abstract layer of operators, which allows to separate the task description from concrete models and thus significantly reduce the coherence of the system. The proposed solution is oriented to support models of different types (linguistic, visual and others) and provides transparent request routing and scalability in a distributed computing environment. In the paper it is separately noted that the achievement of the corresponding characteristics of the approach is possible with the implementation of a standardized set of operators. The presented approach provides the required scalability of the integration architecture of artificial intelligence systems and can serve as a basis for the construction of universal integration solutions.

Keywords: artificial intelligence, systems integration, software gateway, contextual interaction, distributed architecture, semantic routing

Введение

Бурное развитие технологий обработки данных и широкое распространение облачных вычислений привели к активному внедрению систем искусственного интеллекта в различные сферы деятельности от промышленного производства до обра-

зования и медицины. Интеллектуальные модули, реализующие функции классификации, распознавания образов, прогнозирования, становятся неотъемлемой частью современных программных систем. Однако их практическое использование требует эффективной интеграции с другими

компонентами программной архитектуры, включая хранилища данных, интерфейсы прикладного программирования и модули принятия решений. На сегодняшний день отсутствует единый общепринятый подход к интеграции систем искусственного интеллекта в распределённые программные комплексы, особенно в условиях гетерогенной программной среды и высокой степени распределённости компонентов. Это приводит к необходимости разработки собственных промежуточных решений, обеспечивающих связность между интеллектуальными подсистемами и остальной инфраструктурой.

Интеграция систем искусственного интеллекта (ИИ) в существующие архитектуры программного обеспечения представляет собой ряд технических проблем, особенно при работе с распределёнными средами и разнообразными компонентами системы. Например, типичным сценарием, при котором возникает необходимость в интеграции интеллектуальных моделей, является добавление ранее разработанной функциональности, основанной на модели искусственного интеллекта, в новую функциональность, написанную совершенно на другом стеке технологий. На практике, примером такой задачи может быть такая ситуация, когда модель рекомендаций, обученная в PyTorch, должна быть интегрирована в платформу электронной коммерции на базе Java с использованием REST API и последовательной сериализации данных. Поэтому одним из основных препятствий в этой области является проблема совместимости данных между гетерогенными системами. Существующая инфраструктура часто использует разные форматы данных, структуры и методологии хранения, которые должны быть согласованы с моделями искусственного интеллекта, что подтверждается рядом работ. Так авторами S. Sinha и Y.M. Lee подчёркивается проблематика интеграции искусственного интеллекта в существующую инфраструктуру, включая необходимость гармонизации различных форматов данных и структур хранения [1]. В работе P.M.A. van Ooijen и соавторов рассмотрены технические аспекты построения ИИ-пайплайнов, включая вопросы хранения данных, использования облачных инфраструктур и структурирования процессов обработки [2]. Авторы подчёркивают важность чёткого проектирования ИИ-конвейеров и отмечают, что в распределённых условиях высокая степень связности между компонентами может стать узким местом при масштабировании. Однако представленный ими подход ориентирован

преимущественно на линейные сценарии исполнения и не предусматривает явного механизма абстрагирования задач от конкретных моделей.

Проблема интеграции становится особенно острой, когда организациям необходимо подключить несколько источников данных. Так в последних исследованиях и опросах, проведённых компанией Trau.ai показано, что примерно около 42% предприятий нуждаются в доступе к восьми или более источникам данных для успешного развёртывания агентов искусственного интеллекта. В работе M. Zhao и соавторов рассмотрен вопрос реализации конвейера хранения и обработки данных, состоящего из центрального хранилища данных, построенного на распределённом хранении, который позволяет сотням моделям обучаться совместно через территориально-распределённые дата-центры [3]. В рамках необходимости соблюдения стандартов представления данных, возникают сложности с тем, что многие организации работают с устаревшими системами, построенными на устаревших технологических стеках, языках программирования или операционных системах, которые несовместимы с современными фреймворками и инструментами в области искусственного интеллекта. Это несоответствие между устоявшейся инфраструктурой и передовыми приложениями систем искусственного интеллекта добавляет значительную сложность интеграции

Но помимо проблемы совместимости данных между системами, существенным препятствием к интеграции является также качество самих данных. Как известно, модели искусственного интеллекта в значительной степени зависят от высококачественных данных для процессов обучения и формирования вывода и основными сложностями в данной части являются несоответствия, неточности и пропущенные значения в наборах данных, что может существенно снизить производительность систем, основанных на искусственном интеллекте [4,5]. Поэтому при решении проблемы интеграции должны быть учтены и разработаны соответствующие политики управления данными и реализованы общие протоколы очистки данных, для того чтобы гарантировать целостность информации, поступающей в системы [6].

Таким образом, можно констатировать, что существенным препятствием для интеграции систем искусственного интеллекта является отсутствие общепринятых стандартов интеграции, что приводит к непоследовательным подходам в организациях,

даже даже в пределах одного предприятия или даже проекта. Без общих стандартов организации должны разрабатывать собственные подходы, что часто приводит к потенциальным пробелам в реализации, что говорит об актуальности данной задачи.

Цель исследования – разработка контекстно-ориентированной архитектуры интеграции систем искусственного интеллекта, направленной на снижение сложности сопряжения интеллектуальных модулей с прикладной логикой распределённых программных систем. В основе предлагаемого подхода лежит использование промежуточного слоя абстрактных операторов и стандартизированных механизмов отображения задач на модели, независимых от конкретных поставщиков решений.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено в форме теоретико-прикладного анализа существующих подходов к интеграции систем искусственного интеллекта. В качестве материала использованы архитектурные схемы микросервисных систем, документы форматов YAML/JSON, описания моделей различной природы (языковые, визуальные и др.). Методологической основой послужили принципы декомпозиции, архитектурного моделирования и абстракции, а также положения, изложенные в работах из списка литературы.

Архитектуру и механизмы отображения задач в модели планируется реализуются в рамках модульного фреймворка, использующего стек технологий REST/gRPC, а также унифицированные контракты взаимодействия на основе JSON Schema и Protocol Buffers. В качестве целевой платформы рассматривается реализация на языке Python с использованием библиотек FastAPI, Pydantic и Docker-контейнеризации для изоляции моделей. Особое внимание уделяется возможности масштабирования и повторного использования операторных блоков при формировании задач в виде графов обработки.

Результаты исследования и их обсуждение

Прежде чем перейдём к рассмотрению решения обозначенной выше проблемы, сформулируем и формализуем задачу интеграции систем искусственного интеллекта. Пусть имеется множество моделей искусственного интеллекта, которые могут описаны как $M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$, а также множество типов задач (или прикладных целей использования моделей) $T = \{T_1, T_2, \dots, T_M\}$. Каждая модель из множества M реализует отображение вида

$$M_i : X_i \rightarrow Y_i, \quad (1)$$

где X_i – множество допустимых входных данных (изображения, текст, аудио),

Y_i – множество возможных выходных данных (текст, классы, эмбединги и т.д.).

А каждая задача из множества T , в свою очередь, требует выполнения некоторого преобразования вида

$$T_j : D_j \rightarrow R_j, \quad (2)$$

где D_j – множество исходных данных задачи, R_j – множество желаемых результатов.

Следовательно, для того чтобы модель M_i могла участвовать в решении задачи T_j , необходимо определить связку между моделью и задачей. Это связка и будет являться интеграцией модели в новую задачу. Все возможные такие связки (пары M_i и T_j) можно представить как отношение интеграции, которое можно записать в виде

$$I = M \times T = \{M_i, T_j \mid M_i \in M, T_j \in T\}. \quad (3)$$

Каждая модель M_i представляется как расширенный конечный автомат, который может быть описан кортежем

$$A_i = (Q_i, \Sigma_i, \Gamma_i, \delta_i, q_0, F_i, D_i), \quad (4)$$

где Q_i – множество состояний

Σ_i – входной алфавит (события, запросы)

Γ_i – выходной алфавит

δ_i – функция перехода в зависимости от входа D_i

q_0 – начальное состояние автомата (выполнение модели)

F_i – множество конечных состояний

D_i – набор внутренних переменных (память, флаги, контекст и т.д.).

Тогда для каждой задачи T_j и модели M_i , логика перехода δ_i должна включать индивидуальные правила, определённые как

$$\delta_i : (q, \sigma, D_i) \xrightarrow{T_j} q'.$$

Таким образом модель должна иметь в своей логике переходов δ_i отдельные правила для каждой задачи T_j . В свою очередь, для каждой пары отображения (M_i, T_j) , чтобы осуществить взаимодействие, также необходимо определить композицию преобразований вида

$$\varphi_{j \rightarrow i} : D_j \rightarrow X_i, \quad (5)$$

$$\psi_{i \rightarrow j} : Y_i \rightarrow R_j. \quad (6)$$

Таким образом, полная интеграция пары требует создания отображения

$$F_{ij} = \psi_{i \rightarrow j} \circ M_i \circ \varphi_{j \rightarrow i} : D_j \rightarrow R_j, \quad (7)$$

Формула (7) описывает, как задача из пространства D_j (данные задачи j) преобразуется в результат R_j (ожидаемый формат результата для задачи j) с помощью модели M_i , предназначенной для решения задач другого типа. Так как модель M_i напрямую не совместима с форматом задачи j , то используются два дополнительных преобразования, а именно транслятор φ и интерпретатор ψ . Иными словами, сначала к данным $d \in D_j$ применяется транслятор φ , с целью преобразования входа задачи в формат, понятный модели, далее результат подаётся на вход модели M_i , после чего результат модели интерпретируется соответствующим интерпретатором, то есть происходит преобразование результата модели в формат, ожидаемый задачей. Таким образом, одна универсальная модель может применяться к задачам разных типов с помощью обёрток-преобразователей, тем самым определена прямая интеграция каждой модели с каждой задачей. Однако такая прямая интеграция модели M_i с задачей T_j требует, чтобы либо сама модель изначально была обучена на задаче данного типа,

либо чтобы внешние преобразования $\psi_{i \rightarrow j}$ и $\varphi_{j \rightarrow i}$ были достаточно сложными, чтобы компенсировать отсутствие у модели знаний о специфике задачи. Это означает, что в случае, если модель M_i не была заранее обучена учитывать особенности задачи, то все требования к адаптации полностью ложатся на внешнюю инфраструктуру интеграции, что в обязательном порядке требуется учитывать при реализации систем и протоколов интеграции систем искусственного интеллекта. Особенно это критично при повторном использовании одной и той же модели M_i в новой задаче T_{j+1} , с которой она ранее не взаимодействовала. Здесь же стоит отметить, что в данной работе, по умолчанию предполагается, что интеграция всегда требует явных адаптационных преобразований. В частном случае, если модель M_i изначально была обучена на задаче T_j , и входные и выходные форматы полностью совпадают с требованиями задачи, отображения φ_j^i и ψ_i^j могут быть реализованы как тождественные функции. В этом случае интеграция упрощается до прямого вызова модели, то есть $F_{ij} = M_i$.

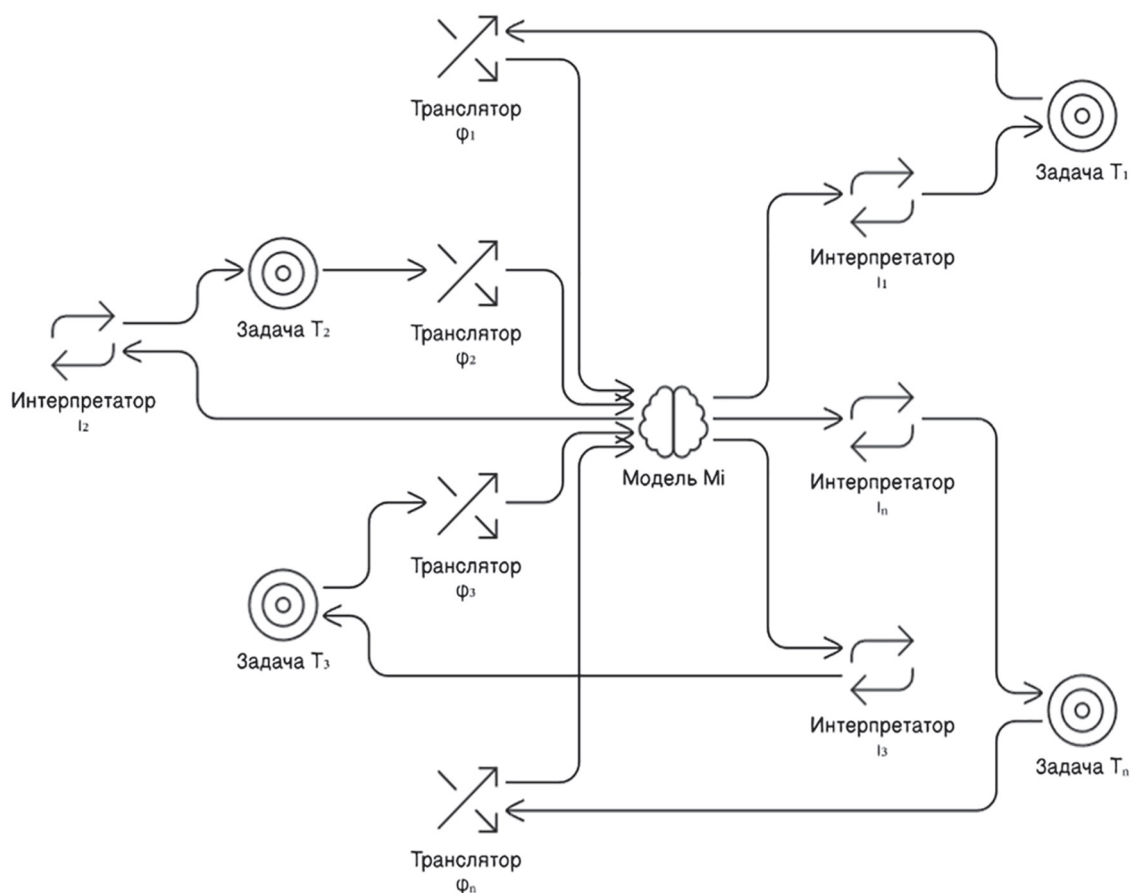


Рис. 1. Интеграция универсальной модели M_i с множеством задач через индивидуальные преобразователи
Источник: составлен автором

На рисунке 1 показана схема использования модели M_i для новых классов задач при описанном выше подходе к интеграции.

Даже если сама модель остаётся неизменной, для корректного включения её в новую прикладную цель, фактически, необходимо спроектировать новую пару транслятор-интерпретатор, что при большом количестве используемых моделей усложняет систему. Таким образом, возникает необходимость в архитектурных подходах и протоколах, которые могли бы централизованно управлять взаимодействием моделей.

В последние годы разработано множество таких решений. Одним из наиболее распространённых подходов к интеграции компонентов в системах искусственного интеллекта является использование микросервисной архитектуры, в которой каждая модель развёртывается как отдельный сервис с внешним API, а задачи реализуются как отдельные оркестраторы, направляющие данные в нужные компоненты, посредством использования таких протоколов и архитектурных стилей, как, например, REST (HTTP/JSON) или gRPC (Protocol Buffers). В самой простой реализации такого подхода каждая модель M_i обернута в микросервис с endpoint $POST /predict$, который на вход принимает сериализованные данные, а каждая задача T_j реализует собственный клиент, который формирует запросы к нужным микросервисам. Каждый клиент реализует прикладную логику задачи T_j , связанную со сбором и преобразованием исходных данных, а также выбором нужных моделей и дальнейшей агрегацией результатов в единое решение, таким образом, обеспечивается оркестрация и выполнение прикладного сценария. Благодаря такому подходу, в рамках одного вызова задача может последовательно активировать несколько моделей. Типичный цикл обработки прикладной задачи с поступления HTTP запроса на вход оркестратора, который анализирует полученные данные и определяет необходимую последовательность действий, вызывая соответствующую модель. Если для выполнения текущего шага требуется дополнительная модель, то задача формирует запрос к сервису модели M_i . После получения запроса сервис модели выполняет преобразование данных во внутренний формат, запускает выполнение и получает ответ, содержащий результат выполнения и дополнительную информацию. Данный ответ возвращается задаче в виде JSON формата или protobuf-сообщения. Важно отметить, что здесь могут использоваться дополнительные промежуточные слои, отвечающие

за трансформацию входных и выходных данных, а также согласования форматов между задачей и моделью. Эти компоненты являются реализацией адаптационных отображений $\psi_{i \rightarrow j}$ и $\varphi_{j \rightarrow i}$, которые были описаны выше. После всех этих действий, оркестратор задачи принимает результат, выполняет его постобработку и решает, завершена ли задача или требуются дополнительные шаги. На рисунке 2 показана возможная схема реализации данного подхода.

Несмотря на то, что архитектура, показанная на рисунке 2, является модульной и обладает требуемым уровнем прозрачности, такое решение остаётся жёстко связанным, нарушая принцип низкой связанности и высокого сцепления (англ. low coupling – high cohesion) [7]. Это проявляется в том, что для каждой задачи необходимо явно указывать, какие модели вызывать, в каком порядке, с какими параметрами, и как обрабатывать результат, а чтобы интегрировать все возможные взаимодействия между M_i и T_j , необходимо реализовать $S = M \times N$ уникальных интерфейсов, сохраняя при этом локальные контексты внутри каждой модели. Тогда трудоёмкость одной интеграции модели может быть определена как

$$C_{i,j} = c_1 + c_2 + c_3 + c_4, \quad (8)$$

где c_1 – реализация маршрута вызова,

c_2 – преобразование входа ($\varphi_{j \rightarrow i}$),

c_3 – интерпретация выхода ($\psi_{i \rightarrow j}$),

c_4 – логика ошибок, логгирование, тестирование и прочее.

А общая трудоёмкость для всей системы может быть рассчитана, как

$$C_{sum} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{i,j} = (c_1 + c_2 + c_3 + c_4) \cdot m \cdot n. \quad (9)$$

На рисунке 3 показана тепловая карта роста сложности системы (количество точек интеграции) по формуле второго порядка $S(m,n) = O(mn)$, полученная с использованием языка Python и Jupyter Notebook.

Как видно из рисунка 3 уже при, например, 5 моделях и 4 задачах необходимо реализовать 20 связей, что на практике будет приводить к возникновению дублированного кода в реализации, а при 20 моделях и 15 задачах необходимо реализовать 300 связей, что приводит к значительной сложности такого решения, которое проявляется в том, что необходимо реализовать и поддерживать большое количество маршрутов, адаптеров, обработчиков ошибок и прочей функциональности, а при попытке добавления новой модели или задачи нужно модифицировать десятки компонентов.

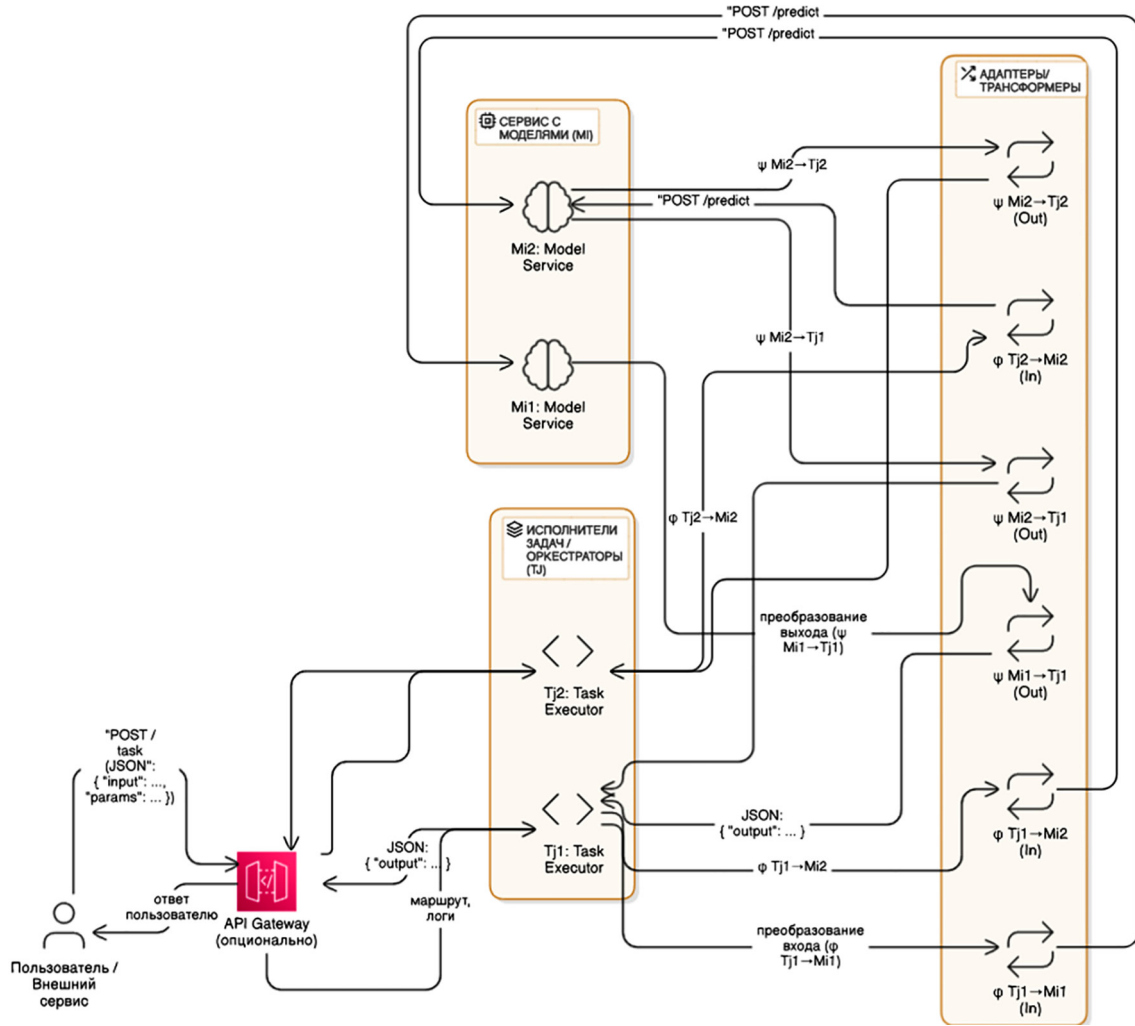


Рис. 2. Микросервисная архитектура с RPC-интеграцией моделей искусственного интеллекта с задачами
Источник: составлен автором

Для решения данной проблемы можно в существующую архитектуру добавить дополнительный слой операторов, по некоторой аналогии, как предложено в работах [8-10], которые будут поддерживать стандартные операции. То есть, вместо прямой интеграции вида «модель – задача», можно разделить взаимодействие на уровень реализации базовых операций [11], которые реализуют модели и уровень описания задачи, как последовательность операторов. Для этого необходимо усложнить описанную выше модель путём определения множества абстрактных операторов $K = \{O_1, O_2, \dots, O_k\}$, реализующих набор стандартных операций вида «генерация текста», «эмоциональный анализ», «извлечение сущностей», «поиск», «ответ на вопрос», «перевод» и т.д. Тогда каждая модель

M_i реализует один или несколько операторов из K , то есть $M_i : Op_{M_i} \subseteq K$. Тогда задача T_j может быть определена как композиция операторов

$$T_j = O_1 \circ O_2 \circ \dots \circ O_{j_r}, \quad (10)$$

где $O_{j_r} \in K, r \leq k$.

При таком подходе любая задача становится простым потоком исполнения операторов, не привязанных к конкретным моделям. Для каждого оператора $O_k \in K$ существует отображение $\mu : K \rightarrow \dot{P}(M)$ такое, что $\mu(O_k) = \{M_i \in M \mid M_i \models O_k\}$. Это множество моделей, реализующих соответствующую операцию. В таком случае для исполнения задачи необходимо выбрать

конкретную модель ($M_k^* \in \mu(O_k)$), которая будет вызвана при выполнении соответствующего шага пайплайна. Чтобы формализовать этот выбор, вводится функция σ , сопоставляющая паре (оператор, контекст задачи) конкретную модель

$$\sigma : (O_k, C) \mapsto M_k^* \in \mu(O_k), \quad (11)$$

где C – это контекст исполнения задачи.

Полная интеграция задачи T_j теперь выглядит как композиция

$$T_j = \psi_{k_r \rightarrow j} \circ O_{j_r} \circ \dots \circ O_{j_2} \circ O_{j_1} \circ \varphi_{j \rightarrow k_1}, \quad (12)$$

где $\varphi_{k_r \rightarrow j} : D_j \rightarrow A_{k_1}$ – преобразование входа задачи в формат первого оператора,

$\psi_{k_r \rightarrow j} : B_{k_r} \rightarrow R_j$ – интерпретация результата последнего оператора под формат задачи.

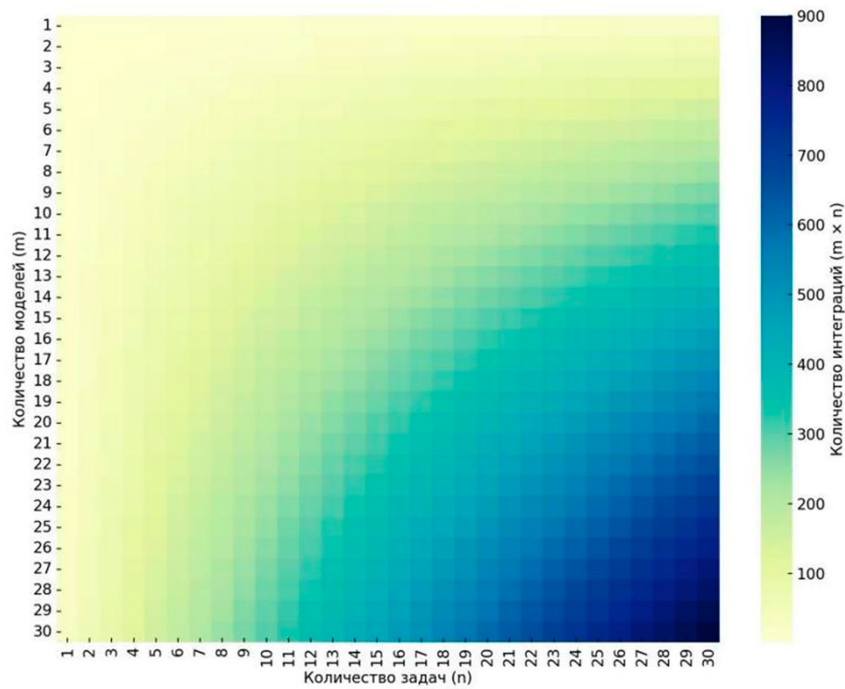


Рис. 3. Рост количества интеграций при фиксированном числе задач
Источник: составлен автором

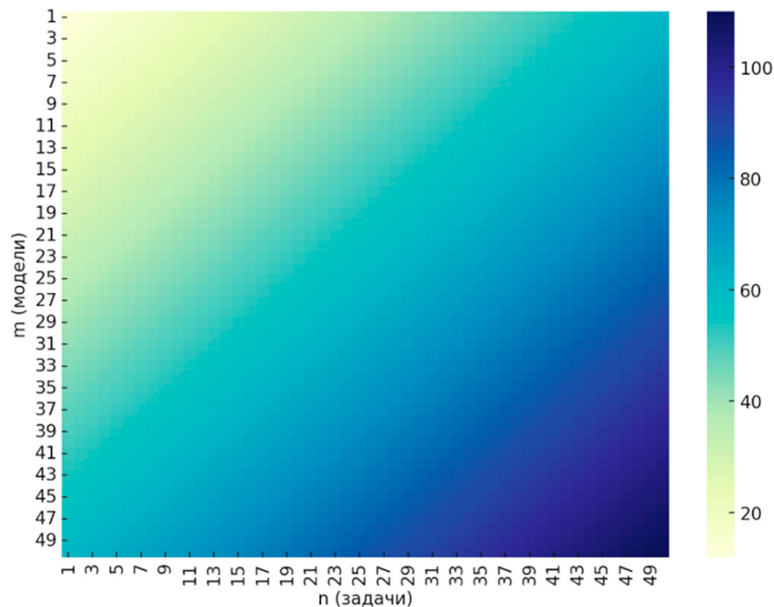


Рис. 4. Сложность интеграции при использовании операторного слоя
Источник: составлен автором

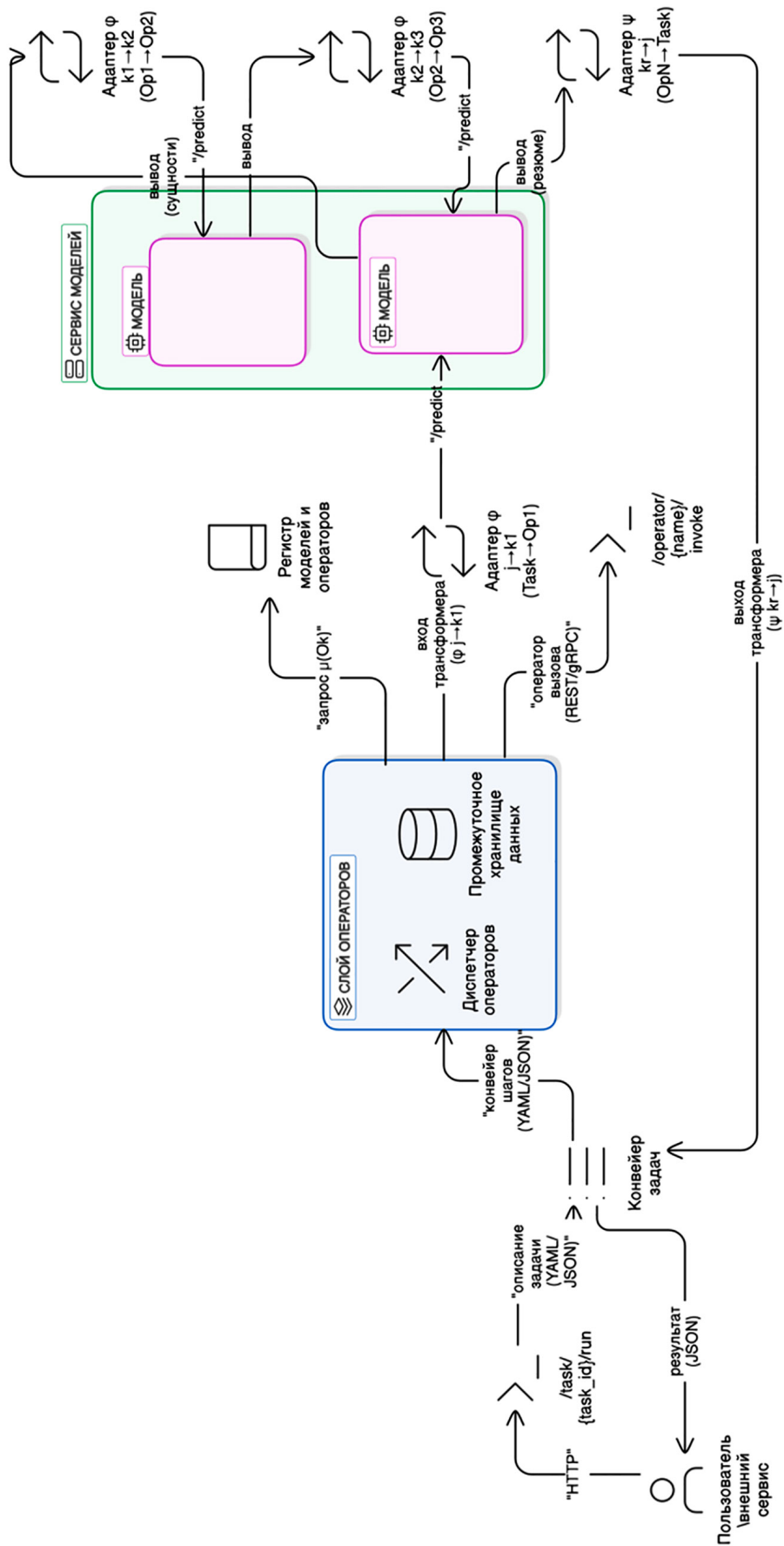
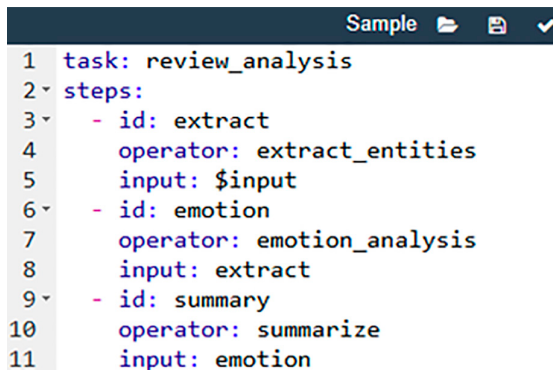


Рис. 5. Архитектура системы интеграции моделей III с промежуточным слоем абстрактных операторов (составлен автором)

Тогда итоговая сложность для способа интеграции моделей искусственного интеллекта с использованием микросервисной архитектуры и дополнительного слоя операторов определяется как $O(m+k+n)$ где $k \ll m, n$, что приводит к тому, что количество необходимых интеграций в системе растёт линейно по числу моделей, задач и операторов, так как множество операторов относительно стабильно и компактно. То есть, если даже количество моделей $m=200$, а задач $n=300$, набор таких базовых операций останется равным (примерно) 10-20. На рисунке 4 показана сложность интеграции при использовании операторного слоя, полученная с использованием языка Python и Jupyter Notebook.

С технической стороны вопроса, реализация такого подхода может быть произведена за счёт введения дополнительных архитектурных компонентов, как показано на рисунке 5.

Как видно из рисунка 5, пользователь или внешняя система инициирует выполнение задачи через HTTP-запрос к API системы (`/task/{task_id}/run`). В запросе передаётся описание задачи в виде сценария обработки (pipeline), выраженного, например, в формате YAML или JSON. На рисунке 6 показан возможный формат задачи на языке yaml.



```

1 task: review_analysis
2 steps:
3   - id: extract
4     operator: extract_entities
5     input: $input
6   - id: emotion
7     operator: emotion_analysis
8     input: extract
9   - id: summary
10    operator: summarize
11    input: emotion

```

Рис. 6. Декларативное описание задачи
Источник: составлен автором

Хотя в декларативном описании задачи отображения $\Phi_{k_r \rightarrow j}$ и $\Psi_{k_r \rightarrow j}$ не указываются явно, они реализуются в интеграционном слое системы. Система выполняет проверку согласования типов вида $\tau_{out}(O_a) = \tau_{in}(O_b)$ и если типы не согласуются, пайплайн считается некорректным. Такой формат превращает задачу в граф исполнения операторов, а не в просто в набор шагов, что позволяет системе динамически подставить модели,

реализующие каждый оператор и как видно из рисунка 6 пайплайн не содержит указаний на конкретные модели. Тогда направленный ациклический граф операторов может быть представлен, как

$$G_T = (V_T, E_T), V_T \subseteq O, E_T \subseteq V_T \times V_T, \quad (13)$$

в котором узлы будут являться операторами, а рёбра графа задают порядок исполнения операций. При этом формальное условие согласования типов, для любого корректного графа G_T , будет представлено как

$$\forall (O_a \rightarrow O_b) \in E_T : \tau_{out}(O_a) = \tau_{in}(O_b), \quad (14)$$

что позволяет реализовать механизм валидации декларативного описания задачи.

Далее задача поступает на вход центрального исполнительного компонента системы, в котором реализован компонент «Диспетчер операторов», который отвечает за управление выполнением задач и распределением вызовов операторов, и временное хранилище данных между шагами пайплайна. То есть, он анализирует пайплайн и вызывает нужные модели по операторам, используя адаптеры. Именно компонент «Диспетчер операторов» отвечает за формирование функционального графа исполнения G_M по описанному задачей операторному графу G_T . Каждому оператору $O_i \in V_T$ диспетчер сопоставляет множество допустимых моделей $\mu(O_i) \subseteq M$, где каждая модель реализует соответствующий оператор. Из этого множества выбирается конкретная модель $M_i^* \in \mu(O_i)$, исходя из требуемого контекста, как описано в (11) и дополнительных эвристик, например производительности модели на текущий момент времени, в случае дублирования моделей. Таким образом, формируется граф исполнения моделей (механизм роутинга)

$$G_M = (V_M, E_M), V_M \subseteq M, \text{ такое что}$$

$$\forall O_i \in V_T, \exists M_i^* \in \mu(O_i), M_i^* \in V_M, \quad (15)$$

а структура рёбер графа согласована с операторным графом

$$\forall (O_a \rightarrow O_b) \in E_T \Rightarrow (M_a^* \rightarrow M_b^*) \in E_M, \quad (16)$$

что позволяет выбирать конкретные реализации операторов на этапе исполнения.

Формат возможного запроса к модели, на примере автоматического мультимодального анализ пользовательского фотоотзыва, показан на рисунке 7.

Данный слой также связан с реестром моделей.

```

1 POST /predict
2 {
3   "input": {
4     "text": "На фотографии изображена счастливая собака
              в парке, который я посетил вчера. Мне понравилась
              атмосфера и природа данного места и я вернусь
              туда ещё раз!",
5     "image": "data:image/jpeg;base64,/9j
              /4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD...",
6   "metadata": {
7     "user_id": "u2398",
8     "language": "ru",
9     "submitted_at": "2025-05-01T09:34:12Z",
10    "source": "mobile_app"
11  },
12 },
13 "context": {
14   "task": "user_feedback_analysis",
15   "purpose": "generate_public_emotional_summary",
16   "domain": "pet_experience",
17   "target_audience": "website_visitors",
18   "output_tone": "friendly",
19   "output_length": "short",
20   "include_key_entities": true,
21   "multioperator_chain": [
22     "extract_entities",
23     "emotion_analysis",
24     "summarization"
25   ]
26 },
27 "parameters": {
28   "temperature": 0.5,
29   "top_k": 40,
30   "max_tokens": 120,
31   "language": "ru"
32 }

```

Рис. 7. Пример запроса к модели
Источник: составлен автором

На основании запроса вида $\mu(O_k)$, диспетчер получает список всех моделей, реализующих указанный оператор, что позволяет динамически маршрутизировать вызовы моделей без жёсткой привязки задач к моделям. Далее слой адаптеров обеспечивают преобразование входа задачи к формату всех операторов из пайплайна задачи, а результат последнего оператора интерпретируют в формат, пригодный для возврата пользователю.

Данная архитектура обеспечивает слабую связность за счёт того, что благодаря введению абстрактного слоя операторов, новые задачи могут быть собраны как сценарии без модификации существующих моделей, а новые модели, в свою очередь, могут подключаться без пересборки задач.

Подход к интеграции моделей искусственного интеллекта с использованием дополнительных слоёв абстракции или схожих механизмов, набирает всё большую популярность на практике. Так, GitLab, в рамках проекта AI Abstraction Layer, ведёт работы по созданию унифицированной

архитектуры для интеграции и управления AI/ML-функциями для своей платформы. Согласно официальной документации проекта, абстрактный слой функционирует как промежуточный слой между интерфейсами GitLab (веб-интерфейс, IDE, API) и различными AI-провайдерами. Для этого взаимодействия предлагается использовать расширяемый GraphQL API. Однако данное решение находится ещё на стадии концепции и конечный вид данной технологии ещё не определён. Возможно, что данное решение, пока что, опирается на более технически фиксированный маршрут вызова AI-функций (через aiAction), по сравнению с предложенным выше решением. Помимо этого, уже появились инструменты, такие как TensorFlow Serving, TorchServe и т.д., которые представляют собой системы сервинга моделей [12]. Данные инструменты обеспечивают интеграцию на уровне вынесения модели в отдельный сервис, что позволяет вызывать конкретную модель по её API-эндпоинту [13]. Каждая задача знает, какую именно модель (или сервис) ей вы-

звать для получения результата, и формирует запросы под требования этой модели. Однако данное решение обладает существенным недостатком, а именно, чтобы переключить задачу на другую модель, нужно изменить её конфигурацию или код вызова. Появились и более сложные системы инструментов оркестровки для моделей искусственного интеллекта [14], такие как Seldon, KServe, BentoML и т.д., которые позволяют выстраивать более сложные пайплайны обработки. Все эти инструменты упрощают процесс развёртывания и позволяют разворачивать модели как Kubernetes-сервисы, автоматически предоставляя им соответствующие endpoint, но проблема маршрутизации между множеством моделей и задач этими средствами не решается в полном объёме. В предложенном же решении контекстно-ориентированность и динамический выбор модели позволяют устранить данный недостаток.

В современных публикациях подчёркивается, что микросервисный подход хорошо сочетается с требованиями ИИ-систем к масштабированию и обновляемости моделей. Однако одной лишь декомпозиции на сервисы будет недостаточно для решения всех проблем интеграции, поэтому необходимы дополнительные уровни абстракции или стандарты взаимодействия. Предложенный в работе подход по реализации контекстно-ориентированного шлюза с абстрактным слоем операторов позволяет решить эти задачи и уйти от жёсткой привязанности кода, например, путь `/vision/modelA` вызывает модель A, а путь `/nlp/modelB` вызывает модель B. Предложенный в работе способ описывать задачу в виде графа операций (операторного графа), а не привязывать её жёстко к одной модели, позволяет в дальнейшем использовать контекстно-ориентированную маршрутизацию, чтобы при выборе того, как обработать запрос, система учитывала дополнительный контекст поставленной задачи. Но для успешной работы модели контекстно-ориентированной маршрутизации необходимо, чтобы множество операторов, составляющих абстрактный слой, было достаточно стабильным и стандартизированным. В предложенной текущей итерации реализации отсутствует единый словарь операций, общепринятый протокол или какой-то иной механизм описывающий допустимые типы входов, выходов и контекстов. Это может приводить к тому, что при росте числа задач и моделей система может столкнуться с тем, что каждая новая задача требует уникального набора операторов. На практике это означает, что мощность множества операторов K мо-

жет увеличиваться до размеров сопоставимых с количеством задач и моделей, а сама сложность интеграции при использовании операторного слоя при таких условиях уже не будет демонстрировать умеренный линейный рост сложности.

В связи с этим, в дальнейших работах планируется разработать механизм стандартизации описания операторов, включая формальную спецификацию типов, контекстов и семантики операций. Для этих целей предполагается использовать открытый стандарт Model Context Protocol (протокол контекста модели) [15], разработанный в декабре 2024 года компанией Anthropic и поддерживаемый многими крупными технологическими компаниями. Использование данного решения позволит стандартизировать интерфейс взаимодействия с моделями таким образом, чтобы контекст задачи передавался модели, позволяя ей адаптировать своё поведение. В текущей итерации это уже частично реализуется через отображение μ и абстрактные операторы, но в случае использования протокола MCP все модели будут объединены под единым интерфейсом, что должно также понизить сложность интеграции.

Заключение

Проведённое исследование позволило разработать контекстно-ориентированную архитектуру интеграции систем искусственного интеллекта с использованием промежуточного слоя абстрактных операторов, ориентированную на снижение сложности сопряжения интеллектуальных модулей с прикладной логикой распределённых программных систем. В рамках работы разработана также архитектура программного шлюза, поддерживающего контекстно-ориентированное взаимодействие и декомпозицию задач на абстрактные операторы, что обеспечило отделение описания задачи от конкретных реализаций моделей. Показано, что использование операционного слоя позволяет перейти от жёсткой маршрутизации запросов к более гибкой модели динамического связывания, в которой выбор модели осуществляется с учётом контекста задачи и текущих условий исполнения. Предложенное решение ориентировано на микросервисную среду и применимо для решения задачи интеграции разрозненных систем искусственного интеллекта. Также в работе выявлены ограничения, связанные с отсутствием стандартизации операторного слоя, что в перспективе может повлиять на масштабируемость подхода, а именно повышение уровня сложности интеграции. Для решения данной задачи пред-

полагается формализовать операционные онтологии, что можно реализовать за счёт использования нового перспективного протокола Model Context Protocol.

Список литературы

1. Sinha S., Lee Y.M. Challenges with developing and deploying AI models and applications in industrial systems // *Discover Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 4, Is. 1. P. 55. DOI: 10.1007/s44163-024-00151-2.
2. van Ooijen P.M.A., Darzi E., Dekker A. Data Storage, Cloud Usage and Artificial Intelligence Pipeline // *Artificial Intelligence in Cardiothoracic Imaging*. Cham: Springer International Publishing. 2022. C. 45-55.
3. Zhao M., Agarwal N., Basant A., Gedik B., Pan S., Ozdal M., Komuravelli R., Pan J., Bao T., Lu H., Narayanan S., Langman J., Wilfong K., Rastogi H., Wu C.-J., Kozyrakos C., Pol P. Understanding data storage and ingestion for large-scale deep recommendation model training: Industrial product // *Proceedings of the 49th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)*. 2022. P. 1042–1057. DOI: 10.1145/3470496.3533044.
4. Hiniduma K., Byna S., Bez J.L. Data readiness for AI: A 360-degree survey // *ACM Computing Surveys*. 2025. Vol. 57, Is. 9. P. 1–39. DOI: 10.1145/3722214.
5. Enshaei N., Naderkhani F. The Role of Data Quality for Reliable AI Performance in Medical Applications // *IEEE Reliability Magazine*. 2024. Vol. 1, Is. 3. P. 24–28. DOI: 10.1109/MRL.2024.3430192.
6. Madhavan D. Enterprise Data Governance: A Comprehensive Framework for Ensuring Data Integrity, Security, and Compliance in Modern Organizations // *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2024. Vol. 10, Is. 5. P. 731–743. DOI: 10.32628/CSEIT241051062.
7. Zhong C., Zhang H., Li C., Huang H., Feitosa D. On measuring coupling between microservices // *Journal of Systems and Software*. 2023. Vol. 200. Article ID: 111670. DOI: 10.1016/j.jss.2023.111670.
8. Nguyen P., Hilario M., Kalousis A. Using meta-mining to support data mining workflow planning and optimization // *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2014. Vol. 51. P. 605–644. DOI: 10.1613/jair.4377.
9. Murphy A.C., Moreland J.D. Integrating AI microservices into hard-real-time SoS to ensure trustworthiness of digital enterprise using mission engineering // *Journal of Integrated Design and Process Science*. 2021. Vol. 25, Is. 1. P. 1–18. DOI: 10.3233/JID-210013.
10. Maddukuri N. The Transformative Impact of AI on Modern System Integration // *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2025. Vol. 11, Is. 1. DOI: 10.32628/CSEIT25111218.
11. Lopez R., Lourenço R., Rampin R., Castelo S., Santos A.S.R., Piazzentin Ono J. H., Silva C., Freire J. AlphaD3M: An Open-Source AutoML Library for Multiple ML Tasks // *Proceedings of the AutoML Conference 2023 (ABCD Track)*. 2023. Vol. 224. P. 1–22. URL: <https://proceedings.mlr.press/v224/lopez23a.html> (дата обращения: 02.04.2025).
12. Luu H., Pumperla M., Zhang Z. Model serving infrastructure // *MLOps with Ray: Best Practices and Strategies for Adopting Machine Learning Operations*. Berkeley, CA: Apress, 2024. P. 167–215. DOI: 10.1007/978-1-4842-8888-2_7.
13. García Á.L. DEEPaaS API: A REST API for machine learning and deep learning models // *Journal of Open Source Software*. 2019. Vol. 4, Is. 42. P. 1517. DOI: 10.21105/joss.01517.
14. Bogacka K., Sowiński P., Danilenka A., Biot F. M., Wasielewska-Michniewska K., Ganzha M., Paprzycki M., Palau C. E. Flexible deployment of machine learning inference pipelines in the cloud-edge-IoT continuum // *Electronics*. 2024. Vol. 13, Is. 10. Article 1888. DOI: 10.3390/electronics13101888.
15. Patil M., Lokhande V. Model Context Protocol (MCP): Enabling scalable AI data integration // *International Journal for Multidisciplinary Research*. 2025. Vol. 7, Is. 2. DOI: 10.36948/ijfmr.2025.v07i02.43583.

УДК 519.862.6

DOI 10.17513/snt.40385

ОПТИМАЛЬНАЯ МАРКИРОВКА ЗНАЧЕНИЙ КАТЕГОРИАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ С ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ ФУНКЦИЕЙ ПОЛ

Базилевский М.П.

*ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,
Иркутск, e-mail: mik2178@yandex.ru*

Статья посвящена проблеме оценки с помощью метода наименьших модулей неизвестных параметров регрессионных моделей с целочисленной функцией пол. Исследуется ситуация, когда зависимая переменная носит категориальный характер. Для включения в регрессионную модель категориальной переменной предварительно проводится ее маркировка (кодирование), состоящая в присвоении каждой категории уникального целого значения. Цель данной работы состоит в формализации в терминах аппарата частично целочисленного линейного программирования задачи идентификации не только неизвестных параметров регрессионной модели с целочисленной функцией пол, но и оптимальных маркеров категорий зависимой переменной. На примере решения задачи классификации семи видов животных доказана корректность разработанного математического аппарата. При этом сначала продемонстрировано, что при случайной маркировке категориальной переменной качество регрессии существенно меняется. Затем предложенным способом найдена оптимальная маркировка категорий зависимой переменной. Полученная модель, по которой было неверно классифицировано только 12 животных из 101, превзошла по качеству все построенные автором регрессии. Предложенный способ оценки параметров регрессионных моделей с автоматической идентификацией маркеров зависимой категориальной переменной может успешно применяться при решении задач классификации.

Ключевые слова: регрессионный анализ, категориальная переменная, метод наименьших модулей, оптимизация, задача частично целочисленного линейного программирования, целочисленная функция пол

OPTIMAL MARKING OF CATEGORICAL DEPENDENT VARIABLE VALUES WHEN CONSTRUCTING REGRESSION MODELS USING INTEGER FLOOR FUNCTION

Bazilevskiy M.P.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mik2178@yandex.ru

The article is devoted to the problem of estimating using the least absolute deviations method of unknown parameters in regression models with integer floor function. The situation under investigation is when the dependent variable is categorical, and to include a categorical variable in a regression model, it must be preliminarily coded, which consists of assigning a unique integer value to each category. The purpose of this study is to formalize, in terms of mixed integer linear programming, the problem of finding not only the unknown parameters of a regression model with integer floor function, but also the optimal markers for the categories of the dependent variables. Using the example of solving a problem of classifying seven types of animals, we prove the correctness of our mathematical approach. At the same time, we demonstrate that with random coding of a categorical variables, the quality of the regression changes significantly. Then, using the proposed method, optimal marking of categories of the dependent variable was found. The resulting model, according to which only 12 out of 101 animals were incorrectly classified, surpassed all regressions constructed by the author in quality. The proposed method for estimating parameters of regression models with automatic identification of markers for a dependent categorical variable can successfully be applied in solving classification problems.

Keywords: regression analysis, categorical variable, least absolute deviations method, optimization, mixed integer linear programming problem, integer floor function

Введение

При обработке статистических данных на практике довольно часто возникает ситуация, когда исследуемая переменная носит категориальный или качественный характер [1; 2]. Например, к категориальной переменной [3] относится «пол человека», «группа крови», «тип заболевания», «страна», «политическая партия» и т.д. Для включения таких категориальных переменных в регрессионную модель их предварительно маркируют (кодируют), то есть

присваивают каждой категории уникальное целое значение. Если порядок категорий важен, то переменную называют порядковой, а если нет – номинальной. Существует множество методов кодирования категориальных переменных (например, [4–6]). Так, в работе Д.В. Новиковой сравнивается эффективность следующих методов: порядковое, горячее, бинарное, восьмеричное, частотное и целевое кодирование, а также кодирование Стейна, Гельмерта и метод обратной разницы [6].

Аппарат математического программирования уже много десятилетий используется в рамках регрессионного анализа. Основой для этого послужила работа Х.М. Вагнера, в которой задача оценки неизвестных параметров линейной регрессии с помощью метода наименьших модулей (МНМ) была сведена к задаче линейного программирования [7]. К настоящему времени в регрессионном анализе появилось несколько новых разновидностей регрессионных моделей, оценка параметров которых с помощью МНМ предполагает решение задач частично булевого линейного программирования (ЧБЛП). Сегодня эффективность решателей таких задач, как отмечено в работе Т. Коха, Т. Бертхолда, Я. Педерсена и Ч. Ванарета, заметно повысилась [8]. Так, в работе С.И. Носкова задача оценки параметров производственной функции Леонтьева с помощью МНМ сведена к задаче ЧБЛП [9, с. 120–121]. В статье [10] введены модульные регрессии, которые послужили фундаментом для разработки их многослойного аналога [11] и «широкой» модульной регрессии [12]. В работе [13] автором описана задача оценки параметров регрессионных моделей с целочисленными функциями пол и потолок с применением аппарата частично целочисленного линейного программирования (ЧЦЛП). Такие модели целесообразно строить, когда зависимая переменная принимает целые значения. Следовательно, такие регрессии отлично подходят для ситуаций, когда зависимая переменная носит категориальный характер. Проблема состоит в том, каким образом следует маркировать зависимую переменную, чтобы качество регрессии с выбранной целочисленной функцией было наилучшим.

Цель исследования состоит в формализации задачи ЧЦЛП для идентификации с помощью МНМ параметров регрессионной модели с целочисленной функцией пол с одновременной маркировкой значений зависимой переменной.

Материалы и методы исследования

Для оценки параметров регрессионных моделей применяется МНМ, реализуемый в виде задачи линейного программирования. Интеграция функции пол в эту задачу производится с помощью целочисленных переменных.

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть исследуется влияние l объясняющих (независимых) переменных $x_1, x_2, \dots, x_l$ на объясняемую (зависимую) переменную y .

Предположим, что объясняющие переменные имеют значения x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, l}$, где n – объем выборки.

Допустим, что зависимая переменная y имеет категориальный характер.

Будем считать, что число категорий равно p . Тогда значения переменной y можно промаркировать, например, следующим образом:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i \in I_1, \\ 2, & \text{если } i \in I_2, \\ \dots & \\ p, & \text{если } i \in I_p, \end{cases} \quad (1)$$

где I_k – множество номеров наблюдений, относящихся к k -й категории. Очевидно, что справедливы следующие соотношения между этими множествами:

$$I_k \cap I_q = \emptyset, \quad k, q = \overline{1, p}, \quad k \neq q,$$

$$I_1 \cup I_2 \cup \dots \cup I_p = \{1, 2, 3, \dots, n\}.$$

Выражение (1) означает, что маркером для первой категории переменной y выступает целое число 1, маркером для второй категории – целое число 2, и т.д. Тогда для исследования зависимости y от $x_1, x_2, \dots, x_l$ целесообразно использовать предложенную в [13] регрессионную модель с целочисленной функцией пол:

$$y_i = \left\lfloor \alpha_0 + \sum_{j=1}^l \alpha_j x_{ij} \right\rfloor + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_l$ – неизвестные параметры; ε_i , $i = \overline{1, n}$ – ошибки регрессии; скобками $\lfloor \cdot \rfloor$ обозначена рассмотренная в работе Р. Грэхема, Д. Кнута и О. Паташника целочисленная функция пол, которая округляет заключенное в них значение до ближайшего целого числа в меньшую сторону [14, с. 88]. Например, $\lfloor 5,91 \rfloor = 5$.

Модель (2) относится к классу нелинейных регрессий. Для оценки ее неизвестных параметров с помощью МНМ требуется решить задачу:

$$\sum_{i=1}^n \left| y_i - \left\lfloor \alpha_0 + \sum_{j=1}^l \alpha_j x_{ij} \right\rfloor \right| \rightarrow \min. \quad (3)$$

В работе автора [13] показано, что решение задачи (3) сводится к решению задачи ЧЦЛП. Учитывая, что зависимая переменная по правилу (1) принимает ограниченное множество значений, такая задача будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n (u_i + v_i) \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$y_i = \theta_i + u_i - v_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

$$\theta_i \leq \alpha_0 + \sum_{j=1}^l \alpha_j x_{ij} \leq \theta_i + 1 - \Delta, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

$$1 \leq \theta_i \leq p, \quad i = \overline{1, n} \quad (7)$$

$$\theta_i \in Z, \quad i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

$$u_i \geq 0, v_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

где Z – множество целых чисел; если ошибка регрессии в i -м наблюдении положительна, то ее модуль численно равен значению переменной u_i , а если отрицательна, то значению переменной v_i , причем, $u_i \cdot v_i = 0$ для любого i ; θ_i – предсказанный по модели маркер (категория) зависимой переменной в i -м наблюдении; Δ – выбранное исследователем близкое к нулю положительное число.

Задача ЧЦЛП (4)–(9) подходит для моделирования порядковой категориальной зависимой переменной y , маркировка которой производится по правилу (1). Например, как отмечено в работе С. Баладрам, такой порядковой переменной может служить «температура», принимающая значения «очень низкая», «низкая», «высокая» и «очень высокая» [3]. Отметим, что в таком случае маркировать значения зависимой переменной y можно не только целыми числами в диапазоне от 1 до p , но и в любом диапазоне от $(1+k)$ до $(p+k)$, где k – целое число. Действительно, пусть задача (4)–(9), в которой переменная y закодирована по правилу (1), имеет оптимальное решение $\theta_i = \theta_i^*$, $u_i = u_i^*$, $v_i = v_i^*$, $i = \overline{1, n}$, $\alpha_j = \alpha_j^*$, $j = \overline{0, l}$. Промаркируем теперь зависимую переменную y по правилу

$$y_i = \begin{cases} 1+k, & \text{если } i \in I_1, \\ 2+k, & \text{если } i \in I_2, \\ \dots & \\ p+k, & \text{если } i \in I_p. \end{cases} \quad (10)$$

И рассмотрим задачу (4)–(9), в которой линейные ограничения (7) заменены на двойные неравенства $1+k \leq \theta_i \leq p+k$, $i = \overline{1, n}$. Очевидно, что эта задача будет иметь оптимальное решение $\theta_i = \theta_i^*$, $u_i = u_i^*$, $v_i = v_i^*$, $i = \overline{1, n}$, $\alpha_j = \alpha_j^*$, $j = \overline{1, l}$, $\alpha_0 = \alpha_0^* + k$. Таким образом, при маркировке зависимой переменной y по правилу (10) для любого k оптимальные значения всех параметров, кроме α_0 , сохраняются.

Рассмотрим теперь ситуацию, когда категориальная зависимая переменная y носит номинальный характер. Такой переменной может служить, например, «прогноз погоды», категории которой «солнечно», «пасмурно» и «дождливо» [3]. Порядок маркировки этих категорий не важен. Иными словами, категории «солнечно» можно присвоить число 1, «пасмурно» – 2, «дождливо» – 3. Либо категории «солнечно» можно поставить в соответствие число 2, «пасмурно» – 3, «дождливо» – 1. Естественно, что выбранное правило маркировки значений зависимой переменной y будет влиять на решение задачи (4)–(9). Это доказывается на примере в следующем разделе статьи.

Возникает задача выбора оптимальной маркировки значений зависимой переменной y наряду с идентификацией неизвестных параметров регрессионной модели (2) с помощью МНМ. Введем следующее правило маркировки значений категориальной переменной y :

$$y_i = \begin{cases} z_1, & \text{если } i \in I_1, \\ z_2, & \text{если } i \in I_2, \\ \dots & \\ z_p, & \text{если } i \in I_p, \end{cases} \quad (11)$$

где $z_1, z_2, \dots, z_p$ – маркеры каждой категории переменной y , принимающие целые и отличные друг от друга значения из диапазона от 1 до p .

Введем булевы переменные σ_{qk} , $q = \overline{1, p}$, $k = \overline{1, p}$ по следующему правилу:

$$\sigma_{qk} = \begin{cases} 1, & \text{если для } q\text{-й категории маркер } z_q = k, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В задачу математического программирования ограничения на булевы переменные интегрируются в виде

$$\sigma_{qk} \in \{0, 1\}, \quad q, k = \overline{1, p}. \quad (12)$$

Тогда выбор маркера для первой категории реализуется через следующее линейное ограничение:

$$1\sigma_{11} + 2\sigma_{12} + 3\sigma_{13} + \dots + p\sigma_{1p} = z_1.$$

Если в этом ограничении, например, $\sigma_{13} = 1$, а все оставшиеся булевы переменные равны 0, то маркер z_1 принимает значение 3. В общем виде все маркеры z_p , $q = \overline{1, p}$ связаны с булевыми переменными равенствами

$$\sum_{k=1}^p k \cdot \sigma_{qk} = z_q, \quad q = \overline{1, p}. \quad (13)$$

Для обеспечения выбора только одного маркера для каждой категории требуется ввести ограничения

$$\sum_{k=1}^p \sigma_{qk} = 1, \quad q = \overline{1, p}, \quad (14)$$

а для обеспечения различия маркеров из разных категорий – ограничения

$$\sum_{q=1}^p \sigma_{qk} = 1, \quad k = \overline{1, p}. \quad (15)$$

Вместо фиксированных значений маркеров y_i в (5) с учетом правила (11) используем переменные z_q :

$$z_q = \theta_i + u_i - v_i, \quad q = \overline{1, p}, \quad i \in I_q. \quad (16)$$

Тогда решение задачи ЧЦЛП с целевой функцией (4) и с линейными ограничениями (6)–(9), (12)–(16) дает оптимальные по МНМ значения параметров $\theta_i, u_i, v_i, i = \overline{1, n}, \alpha_j, j = \overline{0, l}, \sigma_{qk}, q, k = \overline{1, p}, z_q, q = \overline{1, p}$.

Для проведения вычислительных экспериментов была использована известная выборка данных, содержащая информацию о биологических видах животных [15]. Объем выборки составляет 101 наблюдение. Зависимая переменная y является категориальной и выражает категорию (класс, тип) животного. Всего представлено 7 категорий. К первой относится 41 вид (медведь, слон, жираф, заяц, волк и пр.). Ко второй – 20 видов (курица, утка, страус и пр.). К третьей – 5 видов (морская змея, черепаха и пр.). К четвертой – 13 видов (окунь, карп, щука, пиранья и пр.). К пятой – 3 вида (лягушка, тритон и жаба). К шестой – 8 видов (комар, пчела, муха и пр.). К седьмой – 10 видов (краб, рак, осьминог, скорпион и пр.). По умолчанию каждой категории был присвоен соответствующий ей номер, то есть $z_q = q, q = \overline{1, 7}$. Категория животного предсказывается 15 бинарными переменными: x_1 – волосы; x_2 – перья; x_3 – яйца; x_4 – молоко; x_5 – воздушное; x_6 – водное; x_7 – хищник; x_8 – зубастое; x_9 – позвоночник; x_{10} – дышащее; x_{11} – ядовитое; x_{12} – плавники; x_{14} – хвост; x_{15} – домашнее; x_{16} – кошачий. И одна объясняющая переменная x_{13} – число лап, которая принимает целые значения 0, 2, 4, 5, 6 и 8.

Предварительно общий список из 16 объясняющих переменных был сокращен до 3 наиболее сильно влияющих на y переменных – x_4, x_9 и x_{10} . Для их выбора применен метод последовательного исключения, алгоритм которого встроен в пакет Gretl, с использованием двухстороннего r -значения 0,01. Построенная по этим пере-

менным с помощью МНМ линейная регрессия имеет уравнение

$$\tilde{y} = 8 - x_4 - 4x_9 - 2x_{10}. \quad (17)$$

Для модели (17) сумма модулей ошибок (SAE) составила 27.

Построенная модель (2) с целочисленной функцией пол имеет вид

$$\tilde{y} = \lfloor 7,999 - x_4 - 3,001x_9 - 1,999x_{10} \rfloor. \quad (18)$$

Для регрессии (18) SAE = 20, то есть ее качество выше, чем у модели множественной линейной регрессии (17).

Сначала маркировка категориальной переменной y проводилась вручную. В первый раз категориям случайно были присвоены маркеры $z_1 = 3, z_2 = 6, z_3 = 1, z_4 = 7, z_5 = 2, z_6 = 5, z_7 = 4$. Решение задачи ЧЦЛП (4)–(9) позволило идентифицировать модель

$$\tilde{y} = \lfloor 4,999 - 3x_4 + 2,999x_9 - 0,999x_{10} \rfloor, \quad (19)$$

для которой SAE = 50.

Во второй раз категориям случайно были присвоены значения $z_1 = 1, z_2 = 5, z_3 = 4, z_4 = 7, z_5 = 6, z_6 = 2, z_7 = 3$. В результате была построена модель

$$\tilde{y} = \lfloor 3,999 - 4x_4 + 3,999x_9 - 1,999x_{10} \rfloor, \quad (20)$$

для которой SAE = 14.

Как видно, при разной маркировке категориальной переменной качество регрессионной модели (2) меняется. Так, регрессия (19) оказалась хуже модели (18) с кодами категорий по умолчанию, а регрессия (20) лучше, чем (18).

После чего решалась задача ЧЦЛП (4), (6)–(9), (12)–(16). В ограничениях (6) число $\Delta = 0,0001$. В результате была построена модель

$$\tilde{y} = \lfloor 2,999 + 3x_4 + 3,999x_9 - 1,999x_{10} \rfloor, \quad (21)$$

для которой SAE = 12. При этом оптимальные маркеры категорий переменной y оказались следующими: $z_1 = 7, z_2 = 4, z_3 = 5, z_4 = 6, z_5 = 3, z_6 = 1, z_7 = 2$. Как видно, модель (21) превосходит по качеству все построенные регрессии (17)–(20). Значение SAE = 12 означает, что только в 12 наблюдениях из 101 тип животного был классифицирован неверно. Это наблюдения под номерами 26, 27, 53, 63, 73, 77, 81, 82, 90, 91, 92 и 100.

Заключение

В результате проведенных исследований задача одновременной идентификации с помощью МНМ и маркеров категориальной переменной y , и параметров регрессионной модели с целочисленной функцией пол све-

дена к задаче ЧЦП. На примере решения задачи классификации видов животных доказана корректность разработанного математического аппарата. Построенная предложенным способом регрессионная модель превзошла по качеству регрессии, оцененные по известным алгоритмам. В дальнейшем планируется использовать полученные результаты для модернизации метода оценки списочных регрессионных моделей.

Список литературы

1. Лучинин А.С., Лянгузов А.В. Модель логистической регрессии для прогнозирования летальности в отделении интенсивной терапии: проблемы и решения // *Качественная клиническая практика*. 2022. № 2. С. 13–20. DOI: 10.37489/2588-0519-2022-2-13-20.
2. Коржавых В.В. Сравнение эффективности алгоритмов машинного обучения на примере прогнозирования среднемесячного потребления электроэнергии интервальных приборов учета потребителей // *Научный результат. Информационные технологии*. 2024. Т. 9. № 1. С. 58–72. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-1-0-7.
3. Baladram S. Encoding Categorical Data, Explained: A Visual Guide with Code Example for Beginners [Электронный ресурс]. URL: <https://aiappnews.org/encoding-categorical-data-explained-a-visual-guide-with-code-example-for-beginners-by-samy-baladram-sep-2024/> (дата обращения: 05.03.2025).
4. Alkharusi H. Categorical variables in regression analysis: A comparison of dummy and effect coding // *International Journal of Education*. 2012. Vol. 4, Is. 2. P. 202. DOI: 10.5296/ije.v4i2.1962.
5. Venkataramana M., Subbarayudu M., Rajani M., Sreenivasulu K.N. Regression analysis with categorical variables // *International Journal of Statistics and Systems*. 2016. Vol. 11, Is. 2. P. 135–143. URL: https://www.researchgate.net/profile/Rajani-Meejuru/publication/348421623_Regression_Analysis_with_Categorical_Variables/links/5ffe5a2f45851553a03d60a8/Regression-Analysis-with-Categorical-Variables.pdf (дата обращения: 05.03.2025).
6. Новикова Д.В. Сравнительный анализ эффективности методов кодирования категориальных переменных в задаче прогнозирования безопасности терапии рассеянного склероза // *Заметки по информатике и математике*. 2022. С. 61–69. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49215267&pff=1> (дата обращения: 15.03.2025).
7. Wagner H.M. Linear programming techniques for regression analysis // *Journal of the American Statistical Association*. 1959. Vol. 54, Is. 285. P. 206–212. DOI: 10.1080/01621459.1959.10501506.
8. Koch T., Berthold T., Pedersen J., Vanaret C. Progress in mathematical programming solvers from 2001 to 2020 // *EURO Journal on Computational Optimization*. 2022. Vol. 10. P. 100031. DOI: 10.1016/j.ejco.2022.100031.
9. Носков С.И. Технология моделирования объектов с нестабильным функционированием и неопределенностью в данных. Иркутск: РИЦ ГП «Облформпечать», 1996. 321 с.
10. Базилевский М.П., Ойдопова А.Б. Оценивание модульных линейных регрессионных моделей с помощью метода наименьших модулей // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. 2023. № 45. С. 130–146. DOI: 10.15593/2224-9397/2023.1.06.
11. Базилевский М.П. Оценивание неизвестных параметров многослойной модульной регрессии методом наименьших модулей // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024. Т. 12. № 2 (45). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1581> (дата обращения: 05.04.2025). DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.039.
12. Базилевский М.П. Оценивание регрессионных моделей с регрессорами в виде модулей линейных комбинаций объясняющих переменных // *System Analysis and Mathematical Modeling*. 2024. Т. 6. № 3. С. 269–281. DOI: 10.17150/2713-1734.2024.6(3).269-281.
13. Базилевский М.П. Оценивание с помощью метода наименьших модулей регрессионных моделей с целочисленными функциями пол и потолок // *International Journal of Open Information Technologies*. 2024. Т. 12. № 10. С. 56–61. URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/1926/1782> (дата обращения: 15.03.2025).
14. Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О. Конкретная математика. Основание информатики: Пер. с англ. М.: Мир, 1998. 703 с.
15. UCI Machine Learning Repository [Электронный ресурс]. URL: <https://archive.ics.uci.edu/dataset/111/zoo> (дата обращения: 05.03.2025).

УДК 004.048:519.767.6
DOI 10.17513/snt.40386

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛИНГВИСТИКИ: АНАЛИЗ ОТЗЫВОВ О ТОРГОВЫХ СЕТЯХ

Ванюлин А.Н., Алексеева Н.Р.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
Чебоксары, e-mail: alexis-04@mail.ru

Статья посвящена анализу тональности текста (sentiment analysis) – области компьютерной лингвистики и интеллектуального анализа текста, направленной на извлечение субъективных мнений и эмоций из текстов. Целью исследования является выявление возможностей стандартных методов компьютерной лингвистики для определения тональности отзывов о работе торговых сетей. Основной задачей анализа тональности текста служит определение того, является ли данный текст позитивным, негативным или нейтральным. Рассматриваются различные названия и подходы к данной технологии, такие как мониторинг брендов и анализ социальных медиа, которые получили значительное развитие в последние годы благодаря росту популярности Интернета. В исследовании акцентируется внимание на методах классификации, включая подходы на основе правил и машинного обучения, где последняя категория охватывает современные методы глубокого обучения. Также представлено описание объекта исследования – массива отзывов о торговых сетях – с указанием на методику обработки и анализа данных. Одним из основных результатов является вывод, что необходима тщательная предварительная обработка данных с целью отсеивания дубликатов отзывов. В результате этого с помощью классических методов можно получить правильную классификацию отдельных предложений отзывов с точностью до 72%. Используемый в публикации метод группировки отзывов по соотношению положительных, отрицательных и нейтральных предложений позволяет довести точности определения тональности отзывов до 90%.

Ключевые слова: анализ тональности, обработка естественного языка, компьютерная лингвистика, метод «Bag of Words»

DETERMINATION OF THE TONALITY OF TEXTS BY COMPUTATIONAL LINGUISTICS METHODS: ANALYZING REVIEWS ABOUT RETAIL CHAINS

Vanyulin A.N., Alekseeva N.R.

The Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, e-mail: alexis-04@mail.ru

The article is devoted to the analysis of text tonality (sentiment analysis), a field of computational linguistics and text mining aimed at extracting subjective opinions and emotions from texts. The purpose of the study is to identify the possibilities of standard computational linguistics methods for determining the tone of reviews about the work of retail chains. The main task of analyzing the tonality of a text is to determine whether a given text is positive, negative, or neutral. Various names and approaches to this technology are being considered, such as brand monitoring and social media analysis, which have developed significantly in recent years due to the growing popularity of the Internet. The study focuses on classification methods, including rule-based approaches and machine learning, where the latter category covers modern deep learning methods. It also provides a description of the research object – an array of reviews about retail chains, indicating the methods of data processing and analysis. One of the main results is that careful pre-processing of the data is necessary in order to filter out duplicate reviews. As a result, using classical methods, it was possible to obtain the correct classification of individual feedback proposals with an accuracy of 72%. The method of grouping reviews by the ratio of positive, negative and neutral sentences used in the publication makes it possible to increase the accuracy of determining the tone of reviews to 90%.

Keywords: tonality analysis, natural language processing, computational linguistics, «Bag of Words» method

Введение

Автоматический анализ тональности текста представляется одной из активно развивающихся областей компьютерной лингвистики и интеллектуального анализа текста. Результатом анализа является извлечение из него мнений и эмоций по отношению к обрабатываемому тексту.

Попытки подобного анализа начались практически сразу же с появлением систем автоматического анализа текстов. Особое развитие этот вид анализа получил в по-

следние годы в связи с распространением интернет-технологий, в частности с ростом популярности социальных сетей.

Основной задачей в анализе тональности является присвоение данному документу некоторой эмоциональной характеристики (например, является ли описанное в документе мнение позитивным, негативным или нейтральным).

Автоматическое распознавание тональности текстов находит широкое применение в различных сферах деятельности человека [1, с. 127–179].

1. Анализ отзывов о работе торговых сетей. Результаты анализа необходимы для определения предпочтений потребителей по разным видам продукции, степени удовлетворенности качеством услуг и т.д.

2. Сфера финансовых услуг. По характеру высказанных мнений и настроений определяются предпочтения пользователей по выбору банков, кредитных организаций, возможности будущих отношений с определенными финансовыми организациями.

3. Определение тенденций спроса и предложений различных торговых брендов. При этом анализируются отзывы о ценах и качестве товаров с выдачей последующих рекомендаций о возможности или необходимости их покупки.

4. Анализ новостей. Результатом анализа, как правило, является консолидированное мнение относительно произошедших общественных или политических событий.

5. Политика. Анализируются данные об отношении населения к тем или иным политическим деятелям или политическим событиям. Результаты анализа необходимы для организации предвыборных кампаний как отдельных партий, так и конкретных кандидатов.

6. Социология. Анализоваться могут как данные из социальных сетей, так и данные с сайтов, содержащих статистическую информацию (например, демографическую структуру страны (региона, области), уровень потребления различных видов товаров, услуг и продуктов и т.д.).

7. Извлечение несистемной информации. В первую очередь анализируются данные социальных сетей на предмет тенденций общественного мнения относительно общественных и политических процессов и событий.

8. Обратная связь с пользователями. Производится анализ данных социальных сетей, но в первую очередь анализируются запросы и отзывы пользователей о работе государственных и коммерческих структур.

9. Государственная и общественная безопасность. Производится анализ содержания коммерческих и государственных сайтов и частных блогов на предмет антигосударственной или антиобщественной деятельности – распространение наркотиков, экстремистские высказывания, дискредитация государственной политики и т.д.

Все технологии анализа тональности можно разделить на три группы [2].

Первая группа – подходы на основе правил [3–5]. Их характерной особенностью является использование созданных вручную эмоционально размеченных словарей и правил использования данных словарей.

Эти правила определяют класс текста на основе эмоциональных ключевых слов и их совместного использования с другими ключевыми словами.

Вторая группа – подходы на основе машинного обучения [6, 7]. Исторически первыми алгоритмами являются: наивный байесовский классификатор, деревья решений, логистическая регрессия и метод опорных векторов [8, с. 126–130]. В последнее время все чаще применяются методы глубокого обучения, в которых используются сверточные и рекуррентные нейросети, а также методы переноса обучения.

Третья группа – методы анализа на основе на NLP-технологий [9–11].

В зависимости от целей исследования возможны различные варианты классификации текстов. В самом простом случае задача сводится к бинарной классификации, т.е. делению на тексты с положительной и отрицательной тональностью. В зависимости от специфики текста может быть добавлена категория нейтральных текстов. Отнесение текста к той или иной категории обычно осуществляется с использованием дополнительных словарей типа «хорошие» и «плохие» слова или слова, связанные с определенной эмоцией, – «счастливые» или «печальные» слова. Для определения уровня эмоциональности могут быть использованы различные числовые шкалы (например, по количеству позитивных и негативных слов). В результате текст может быть охарактеризован некоторой числовой шкалой, например от –10 для полностью негативных до +10 для полностью позитивных.

Цель исследования – выявление возможностей стандартных методов компьютерной лингвистики для определения тональности отзывов о работе торговых сетей.

Материалы и методы исследования

В настоящем исследовании применен метод «Bag of Words». Основные этапы данного метода выглядят следующим образом.

1. Подготовка данных: необходимо собрать и подготовить данные для обучения модели анализу тональности. Это может быть набор текстовых данных с разметкой, где каждое высказывание классифицировано как положительное, отрицательное или нейтральное.

2. Разбиение предложений на отдельные слова.

3. Удаление стоп-слов. К ним относятся местоимения, предлоги и союзы. Они, как правило, не несут никакой эмоциональной окраски и могут быть удалены. Также удаляются междометия, так как они достаточно часто несут эмоциональную окраску,

но в равной степени как положительную, так и отрицательную.

4. Замена слов на базовые синонимы.

5. Извлечение необходимых признаков (например, формирование списков ключевых слов или их частотностей).

Объектом исследования являлся массив отзывов о работе различных торговых сетей [12]. Общее количество отзывов – 1000.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные особенности отзывов:

– отзыв состоит из нескольких предложений;

– анализ каждого отзыва показывает, что он может состоять из предложений различной эмоциональной окраски – положительной, отрицательной и нейтральной.

Поскольку степень «положительности» или «отрицательности» оценить очень трудно и эта оценка чисто индивидуальная, то принято решение о простой фиксации эмоциональности каждого предложения в виде –1, 0 или +1.

В итоге общая тональность каждого отзыва определялась как набор из 2 чисел.

Первое число показывает количество предложений с положительной оценкой, деленное на количество предложений в отзыве, второе – количество предложений с отрицательной оценкой, также деленное на количество предложений в отзыве.

Перед началом непосредственной обработки весь массив отзывов был подвергнут ручной разметке. При этом оценивалась эмоциональность каждого предложения отзыва. Поскольку усредненная длина отзывов составляет 6–7 предложений (совсем точно – 6,51), то фактически вручную была определена тональность примерно 6500 предложений.

Исходя из полученных результатов, все отзывы были разбиты на группы согласно таблице 1. Приведенные в таблице 1 цифры показывают достаточное равномерное распределение отзывов по группам, что свидетельствует о достаточности статистики обрабатываемого объема данных. Следует отметить, что группировка произведена в соответствии с поставленной задачей и в общем носит достаточно приближенный характер.

Последующая обработка состояла из следующих этапов.

1. Из всех предложений были удалены так называемые стоп-слова.

2. Произведена замена слов на базовые словоформы. Например, все вариации слова «стол» («столе», «стола», «столами», «столах», «столом» и т.д.) были заменены словом «стол». При этом использовалась база данных (БД) базовых словоформ объемом более 2 млн слов.

3. Произведена замена слов на базовые синонимы. Например, слова «прекрасный», «очаровательный», «прекрасный», «преlestный», «хорошенький» и иные были заменены на слово «красивый». При этом использовалась БД синонимов объемом примерно в 70 000 слов.

После завершения данного этапа были выявлены дубликаты предложений из различных отзывов. При этом дубликатами являлись только положительные отзывы из групп 1 и 4. Из этого следует очевидное предположение: если какое-то предложение в отзыве является дубликатом, то и весь отзыв является дубликатом.

В результате из всего массива данных было удалено примерно 13% отзывов.

Откорректированные данные по составу и структуре отзывов подробно приведены в таблице 2.

Таблица 1

Процентный состав групп отзывов с различным процентным соотношением предложений разной тональности по результатам ручной разметки (x1 – положительная тональность, x2 – отрицательная тональность, x3 – нейтральная тональность)

Группа	Критерий разделения на группы	Содержание в массиве отзывов, %
1	$x1 > x2$ and $x3 \geq 50\%$	21
2	$x1 < x2$ And $x3 \geq 50\%$	22
3	$x1 = x2$ And $x3 \geq 50\%$	5
4	$x1 > x2$ And $x3 < 50\%$	23
5	$x1 < x2$ And $x3 < 50\%$	26
6	$x1 = x2$ And $x3 < 50\%$	3
Всего		100

Примечание: составлено авторами.

Таблица 2

Процентный состав групп отзывов с различным процентным соотношением предложений разной тональности после удаления дубликатов (x_1 – положительная тональность, x_2 – отрицательная тональность, x_3 – нейтральная тональность)

Группа	Критерий разделения на группы	Содержание в массиве отзывов, %
1	$x_1 > x_2$ and $x_3 \geq 50\%$	15
2	$x_1 < x_2$ And $x_3 \geq 50\%$	22
3	$x_1 = x_2$ And $x_3 \geq 50\%$	5
4	$x_1 > x_2$ And $x_3 < 50\%$	16
5	$x_1 < x_2$ And $x_3 < 50\%$	26
6	$x_1 = x_2$ And $x_3 < 50\%$	3
Всего		87

Примечание: составлено авторами.

Таблица 3

Результаты определения тональности текстов на основе сформированных словарей, %

		Автоматически определенная тональность текста		
		Положительная	Отрицательная	Нейтральная
Тональность текста по результатам ручной разметки	Положительная	72	5	23
	Отрицательная	8	77	15
	Нейтральная	16	5	81

Примечание: составлено авторами.

Таблица 4

Совпадение результатов ручной и автоматической разметки отзывов (x_1 – положительная тональность, x_2 – отрицательная тональность, x_3 – нейтральная тональность)

Группа	Критерий разделения на группы	Совпадение, %
1	$x_1 > x_2$ and $x_3 \geq 50\%$	78
2	$x_1 < x_2$ And $x_3 \geq 50\%$	85
3	$x_1 = x_2$ And $x_3 \geq 50\%$	82
4	$x_1 > x_2$ And $x_3 < 50\%$	91
5	$x_1 < x_2$ And $x_3 < 50\%$	88
6	$x_1 = x_2$ And $x_3 < 50\%$	69

Примечание: составлено авторами.

Полученный результат подтверждает тот факт, что часть отзывов пишут менеджеры соответствующих компаний или специально нанятые люди – ревайтеры (rewriters). Кроме того, этот результат показывает, насколько важным и обязательным является этап предварительной подготовки и фильтрации данных. Поэтому процедура выявления и удаления дубликатов должна быть одной из обязательных процедур предварительного отбора данных для дальнейшей автоматической обработки.

Непосредственно для автоматической обработки были выполнены следующие шаги.

1. Из оставшегося массива данных случайным образом было выбрано 80% отзывов и на основе входящих в них предложений были составлены частотные словари используемых в них слов – отдельный словарь для положительных отзывов и отдельный словарь – для отрицательных.

2. Сформированные словари были проверены на пересечение (на наличие одинаковых слов). По результатам этой операции из обоих словарей были удалены одинаковые слова.

6. С помощью полученных словарей была произведена классификация предложений оставшихся необработанных 20% отзывов.

Результаты классификации приведены в таблице 3.

Как следует из данных таблицы 3, минимально правильная классификация предложений имеет место в 72% случаев. Для описываемой задачи данное значение считается достаточно хорошим результатом [13–15].

Полученные данные были использованы для окончательной группировки отзывов по степени тональности. Основные результаты приведены в таблице 4.

Приведенные в таблице 4 результаты показывают очень высокую эффективность применения стандартных методов компьютерной лингвистики для описываемой задачи. Такая эффективность объясняется, во-первых, тем, что использовались словари, характерные для данного типа текстов, и, во-вторых, относительно приближенным разбиением отзывов на группы. Также эффективность проявляется в том, что даже в случае неточности в определении тональности одного или нескольких предложений соотношение положительных и отрицательных предложений в отзывах остается тем же самым.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило эффективность применения стандартных методов компьютерной лингвистики для анализа тональности текста и, в частности, отзывов о торговых сетях. Использование метода «Bag of Words» позволило достичь точности классификации до 90%.

Кроме того, использование данного метода позволяет выявлять дубликаты предложений при 100%-ном совпадении по словарному составу. Этот результат показывает, что этап выявления дубликатов должен быть практически обязательным этапом предварительной обработки данных. В дальнейшем перспективным направлением является комбинирование метода «Bag of Words» с более сложными NLP-технологиями, такими как глубокое машинное обучение, для повышения точности анализа и учета контекстуальных особенностей отзывов. Это позволит более точно оценить эмоциональную окраску текстов и расширить возможности применения анализа тональности в маркетинговых исследованиях и управлении репутацией торговых сетей.

Список литературы

1. Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э., Клышинский Э.С., Лукашевич Н.В., Сапин А.С. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ

данных. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 269 с. URL: <https://istina.msu.ru/publications/book/73034754/> (дата обращения: 15.03.2025).

2. Сулейманов А.К., Шарипова М.А., Сметанина О.Н., Сазонова Е.Ю., Миронов К.В. Модели и методы анализа тональности в текстах на башкирском языке. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8. № 3. URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=831> (дата обращения: 15.03.2025).

3. Лукашевич Н.В. Автоматический анализ тональности текстов: проблемы и методы // Интеллектуальные системы. Теория и приложения. 2022. Т. 26. № 1. С. 50–61. URL: http://intsysmagazine.ru/issue_26-1 (дата обращения: 12.03.2025).

4. Богданова Т.Ф., Бойчук Е.И. Основные теоретические проблемы, связанные с понятием тональности текста // Верхневолжский филологический вестник. 2020. № 4 (23). С. 136–141. DOI: 10.20323/2499-9679-2020-4-23-136-141.

5. Гаршина В.В., Калабухов К.С., Степанцов В.А., Смотров С.В. Разработка системы анализа тональности текстовой информации // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии. 2017. № 3. С. 185–194. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2017/03/2017-03-21.pdf> (дата обращения: 15.03.2025).

6. Бужин Д.С., Азизов М.Т. Алгоритмы машинного обучения для анализа тональности высказываний // Вестник Российского нового университета. 2022. № 2. С. 129–139. DOI: 10.18137/RNU.V9i87.22.02.P.129.

7. Гималетдинова Г.К., Довтаева Э.Х. Сентимент-анализ читательского комментария: автоматизированная vs ручная обработка текста // Ученые записки Казанского университета. Серия гуманитарные науки. 2021. Т. 163. Кн. 1. DOI: 10.26907/2541-7738.2021.1.

8. Николаев И.С., Митренина О.В., Ландо Т.М. Прикладная и компьютерная лингвистика: коллектив. моногр. Москва: URSS, 2016. 315 с. URL: <https://dokumen.pub/53d0eadb1d981309e7c63df8651a2d90.html> (дата обращения: 17.03.2025).

9. Брунова Е.Г., Бидуля Ю.В. Клиент всегда прав: анализ тональности текста в отзывах о качестве банковского обслуживания // Вестник Тюменского государственного университета. Гуманитарные исследования. Humanities. 2017. Т. 3. № 1. С. 72–89. DOI: 10.21684/2411-197X-2017-3-1-72-89.

10. Гималетдинова Г.К., Довтаева Э.Х. Сентимент-анализ читательского интернет-комментария к политическому тексту // Политическая лингвистика. 2020. №1 (79). DOI: 10.26170/rl20-01-05.

11. Колмогорова А.В., Калинин А.А., Маликова А.В. Типология и комбинаторика вербальных маркеров различных эмоциональных тональностей в интернет-текстах на русском языке // Вестник Томского государственного университета. 2019. № 448. С. 48–58. DOI: 10.17223/15617793/448/6.

12. Отзывы об интернет-магазинах. URL: <https://otzyvshops.com> (дата обращения: 15.03.2025).

13. Рубцова Ю.В. Построение корпуса текстов для настройки тонового классификатора // Программные продукты и системы. 2015. № 1 (109). С. 72–78. DOI: 10.15827/0236-235X.109.072-078.

14. Лыченко Н.М., Сорокова А.В. Сравнение эффективности методов векторного представления слов для определения тональности текстов // Математические структуры и моделирование. 2019. № 4 (52). С. 97–110. DOI: 10.24147/2222-8772.2019.4.97-110.

15. Baimakhanbetov Mukhit M., Nurumov Kaidar S., Ospanova Ulzhan A., Buldybayev Timur K., Akoyeva Inessa G. The effect of the ADASYN method on Widespread metrics of machine learning Efficiency // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. № 2. С. 290–297. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.290-297.

УДК 004.912

DOI 10.17513/snt.40387

ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВ ОПРЕДЕЛЕННОЙ СЕМАНТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ В ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ПОТОКАХ

Вишняков Ю.М., Вишняков Р.Ю.

ФГАОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар,

e-mail: jury.vishnyakov@gmail.com

В обработке естественно-языковой информации актуальна проблема выявления текстов определенной семантической направленности и определения их источников. Это требуется в анализе новостных потоков, чатов мессенджеров, социальных сетей, проверке документов на плагиат и других подобных задачах. Целью работы является обоснование концептуальной модели выявления в естественно-языковых потоках текстов определенной семантической направленности по формальным описаниям их источников. Анализ известных подходов показал потребность в собственном инструментарии для решения проблемы. В работе предлагается семантическую направленность задавать сценариями языка формальной грамматики гипотетического семантического объекта, сценарии представлять последовательностями характеристик семантического словаря и направленность текста определять семантической близостью сценария. Бесконечность языка сценариев и отсутствие информации об исходном тексте исключают простой перебор, поэтому предполагаемый сценарий конструируется. Процесс организуется последовательным определением семантического сходства токенов текста характеристикам и их сборкой в предполагаемый сценарий, проверяемый на принадлежность языку. Для семантического сравнения текстов и сценариев сконструированы функции семантического подобия, общий и частный алгоритмы выявления текстов определенной семантической направленности. В общем алгоритме разбор сводится к построению вывода в формальной грамматике, для регулярных грамматик разбор выполняется системой переходов. Для ускорения сборки предполагаемого сценария совмещается с грамматическим разбором и используется механизм бек-трекинга. Точность алгоритмов определяется фактической близостью текстов сценариям. В работе приводится состав разработанного программного комплекса, тестирование которого подтверждает теоретические результаты. Исследование развивает фундаментальные основы математического моделирования естественно-языковой обработки и предлагает новые эффективные вычислительные алгоритмы для комплексов проблемно-ориентированных программ.

Ключевые слова: естественно-языковая обработка, текстовый поток, семантика, формальная модель, формальная грамматика, формальный язык, вывод, система переходов, алгоритм

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта «НИИ-20.1.4».

SEARCH AND IDENTIFICATION OF TEXTS WITH A SPECIFIC SEMANTIC ORIENTATION IN NATURAL LANGUAGE STREAMS

Vishnyakov Yu.M., Vishnyakov R.Yu.

Kuban State University, Krasnodar, e-mail: jury.vishnyakov@gmail.com

In natural language processing, an important challenge is the identification of texts with a specific semantic orientation and the determination of their sources. This is essential for tasks such as analyzing news streams, messenger chats, and social media, as well as for plagiarism detection and other similar applications. The objective of this study is to substantiation of a conceptual model for identifying texts of a certain semantic orientation in natural language flows based on formal descriptions of their sources. A review of existing approaches revealed the necessity of creating a dedicated toolkit to address this problem. The proposed approach defines semantic orientation through scenarios of a formal grammar language representing a hypothetical semantic object. These scenarios are expressed as sequences of characteristics from a semantic dictionary, and the orientation of a text is determined by its semantic proximity to a given scenario. Due to the infinite nature of the scenario language and the lack of prior information about the original text, exhaustive search is impractical. Instead, a hypothesized scenario is constructed dynamically. The process involves sequentially determining the semantic similarity of text tokens to characteristics and assembling them into a hypothesized scenario, which is then verified for conformity to the language. To compare the semantics of texts and scenarios, semantic similarity functions have been developed, along with general and specialized algorithms for detecting texts with a specific semantic orientation. The general algorithm frames parsing as the construction of a derivation in a formal grammar, while for regular grammars, parsing is performed using a transition system. To enhance efficiency, the assembly of the hypothesized scenario is integrated with grammatical parsing, employing a backtracking mechanism. The accuracy of the algorithms is determined by the actual proximity of texts to the given scenarios. The study also presents the structure of the developed software system, whose testing confirms the theoretical findings. This research contributes to the fundamental principles of mathematical modeling in natural language processing and introduces new, efficient computational algorithms for problem-oriented software solutions.

Keywords: natural language processing, text stream, semantics, formal model, formal grammar, formal language, derivation, transition system, algorithm

The study was carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation within the framework of the scientific and innovative project «NIP-20.1.4».

Введение

В настоящее время в обработке естественно-языковой информации больших объемов возникла потребность выявления текстов определенной семантической направленности и определения их источников, что зачастую необходимо в анализе новостных потоков, чатов мессенджеров, социальных сетей, проверке документов на плагиат, установлении авторства и других подобных задачах. Однако, несмотря на наличие современного инструментария [1, с. 79–181] и его специальные приложения [2, с. 130–190], позволяющие достаточно быстро и эффективно разрабатывать программы, проблема нуждается в хорошей теоретической проработке и создании собственного формального подхода для ее решения.

Анализ показывает, что в области естественно-языковой обработки существует большое число различных исследований, которые находят отражение во многих публикациях. Если попытаться условно классифицировать их по направлениям, то, наверное, в первую группу следует включить работы фундаментального характера по всему спектру естественно-языковой обработки, например [3, с. 60–93]. Вторую группу можно составить из работ, направленных на поиск универсальных решений на основе нейросетевых технологий [4]. В третью группу сводятся работы по методам извлечения информации из текстов [5; 6]. Четвертую группу можно образовать по семантической кластеризации областей знаний и их классификации [7]. Группа исследований в нетрадиционной постановке также многочисленна, например обработка естественно-языковых запросов для точных областей знаний [8]. В нее можно добавить области обучения [9; 10] и мультимедиа [11]. Отдельную группу образуют работы по семантическим моделям конкретных частных задач [12–14]. Безусловно, вышеперечисленным не исчерпывается все многообразие исследований, однако анализ показывает, что все они только частично в той или иной мере касаются проблемы поиска естественно-языковых потоков текстов определенной семантической направленности, само решение проблемы видится в создании собственных теоретических разработок.

Следует также обратить внимание на точность естественно-языковой обработки. Она зависит от множества факторов, ключевые из которых представляют используемая модель семантики и затраты на ее реализацию. На сегодня наиболее распространена и изучена частотная модель семантики, ее суть выражает предложение – текст тем реле-

вантнее запросу, чем чаще его слова входят в этот текст. Типичные частотные методы – «мешок слов», алгоритмы TF-IDF, векторные модели, нейросетевые и пр. Однако частотная модель заранее должна быть настроена на статистические характеристики обрабатываемых текстов. Процесс требует большого объема тщательно составленных обучающих выборок, но и после этого доверие к точности результатов обработки может быть подвергнуто сомнению. В контексте повышения точности обработки естественно-языковых данных на многочисленных научных форумах и в публикациях уже давно обсуждается вопрос о переходе на иные модели семантики, поскольку затраты на улучшение частотной модели зачастую не приводят к ожидаемым результатам. В этом ключе авторы развивают вычислительную модель представления семантики [15], положенную в основу предлагаемого исследования. Непосредственно сама предлагаемая работа направлена на решение проблемы поиска и выявления текстов определенной семантической направленности в естественно-языковых потоках.

Цель исследования – обоснование концептуальной модели выявления в естественно-языковых потоках текстов определенной семантической направленности по формальным описаниям их источников.

Материалы и методы исследования

Трудности решения проблемы состоят в том, что понятие «определенная семантическая направленность» имеет вербальную формулировку и соотнесение с ней смыслового содержания текста понятно в человеческом контексте. Однако формальное решение предполагает отображение проблемы в точные формальные модели, процедуры и алгоритмы, которые могут быть программно реализованы. Для этого в исследовании предлагается использовать вычислительную теорию семантической интерпретации и теорию формальных языков и грамматик. Обсудим прежде несколько формальных понятий.

Под естественно-языковым потоком будем понимать последовательность неделимых по смыслу текстовых элементов (токенов – предложений или их фрагментов) вида $T = t_1 t_2 \dots t_m$, где t_i – токен.

Семантическим объектом будем считать некий гипотетический объект, который, исходя из своих внутренних целей и задач, из токенов множества $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ по определенным правилам может сконструировать осмысленный текст a_i из множества текстовых последовательностей $L(P) = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, $L(P) \subset P^*$

и $P^* = P^0 \cup P^1 \cup \dots \cup P^l \cup \dots$, где $P^0 = \{\lambda\}$ – аксиома и λ – пустая цепочка. Совместно множество P и правила (способы) конструирования последовательностей $L(P)$ назовем семантическим описанием объекта.

Для семантического объекта множество P играет роль смыслового лексикона, из элементов которого конструируются текстовые последовательности (тексты) определенного смыслового содержания. Элементы $p_i \in P$ назовем характеристиками семантического объекта, само P – характеристическим множеством и сконструированный текст $\alpha_i \in L(P)$ – сценарием [6].

С учетом данных понятий формальная постановка задачи выглядит следующим образом. Пусть имеется некоторый текстовый поток T и заданный характеристическим множеством P и множеством сценариев $L(P)$ семантический объект. Требуется проверить присутствие в текстовом

потоке текста, семантически подобного сценарию $\alpha_i \in L(P)$, и вычислить степень такого подобия.

1. Семантическое подобие текстовых элементов

Обсудим семантическое подобие двух текстовых элементов (токенов) в вычислительной модели семантики [15]. Будем считать, что и токены из T , и элементы из P целостны по смыслу и представляют предложения или их фрагменты. Например, пусть имеются два текстовых элемента $p = \text{«международное признание образовательных программ российских вузов»}$ и $t = \text{«образовательные программы российских вузов нуждаются в международном признании»}$. Обозначим множества их смысловых значений через $S(p)$ и $S(t)$ соответственно и для наглядности сопоставим в порядке следования в текстовом элементе p словам малые буквы латинского алфавита:

$$p = \underbrace{\text{«международное признание»}}_a \underbrace{\text{«образовательных»}}_b \underbrace{\text{«программ»}}_c \underbrace{\text{«российских»}}_d \underbrace{\text{«вузов»}}_e \text{»} \quad (1)$$

Тогда формульное представление функционала смысла $S(p)$ в нотации обратной польской записи [15] имеет вид

$$|E| = \{ \alpha = p_{r_1} p_{r_2} \dots p_{r_k}, \text{ где } p_{r_i} \in P \text{ и } \alpha \in L(P) \}, \quad (2)$$

где $\bar{\cap}$ – операция контекстного уточнения смысла, а k – арность операции.

Вычислительную процедуру функционала смысла $S(p)$ представляет семантическая схема (рис. 1).

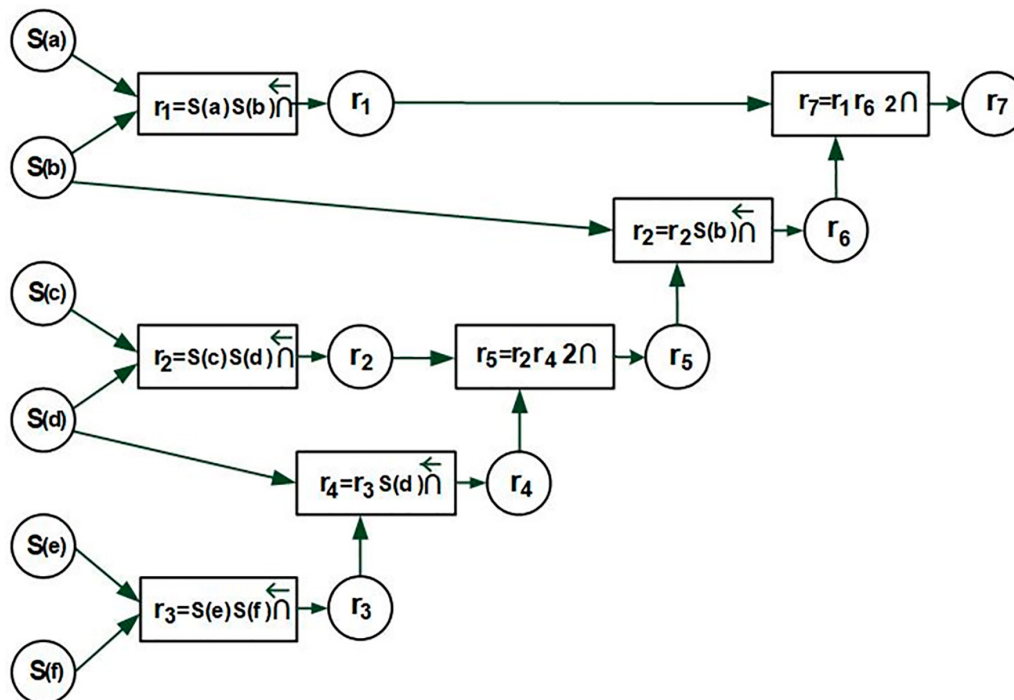


Рис. 1. Семантическая схема текстового элемента p
Источник: составлено авторами по [15]

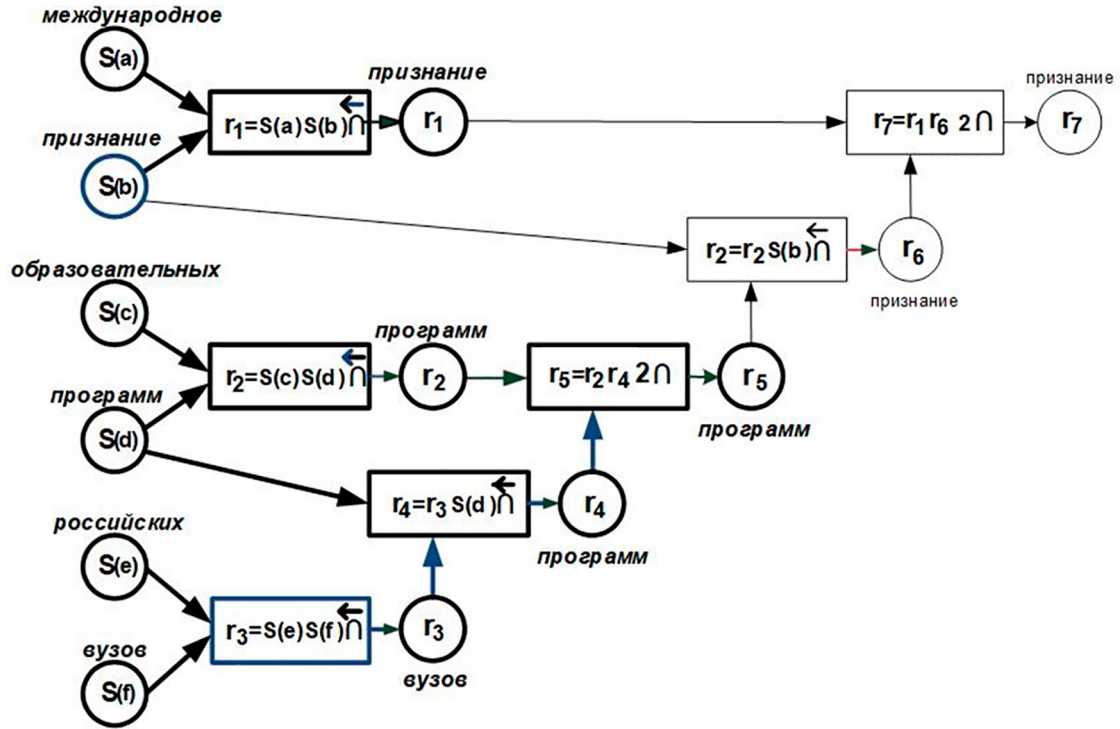


Рис. 2. Семантическая схема текстового элемента t
 Источник: составлено авторами по [15]

На семантической схеме самые левые круглые вершины соответствуют ее входам, прямоугольные (элементы смысла) – операциям, результаты вписаны в круглые вершины на выходах элементов смысла. Подобное формульное представление смыслового функционала можно сконструировать для текстового элемента t , оно показано на рис. 2.

В качестве меры подобия (сходства, близости) семантических значений $S(p)$ и $S(t)$ выбирается критерий вида

$$0 \leq Cprox(S(p), S(t)) \leq 1.$$

Если $Cprox = 0$, то семантическая близость между p и t отсутствует, при $Cprox = 1$ имеет место полное семантическое сходство, в иных случаях семантическая близость частичная. В силу несимметричности операции контекстного уточнения смысла имеет место утверждение

$$Cprox(S(p), S(t)) \neq Cprox(S(t), S(p)).$$

Непосредственно критерий $Cprox$ представляется выражением

$$Cprox(S(p), S(t)) = q / m, \quad (3)$$

где q – число элементов смысла семантической схемы элемента p , совпадающих с элементами смысла семантической схе-

мы элемента t , и m – общее число элементов смысла семантической схемы p . В рассматриваемом случае семантическая схема p содержит 6 слов и 7 элементов смысла (прямоугольных вершин), то есть $m = 7$.

На семантической схеме элемента t (рис. 2) жирными линиями выделены элементы смысла, совпадающие с элементами смысла семантической схемы элемента p (рис. 1), и число таких совпадений $q = 5$.

Таким образом, значение семантического подобия текстовых элементов p и t $Cprox(S(p), S(t)) = 5/7 = 0,71$ и достаточно высоко. Если близость определять на основе частотной модели, то она равнялась бы единице, поскольку все слова элемента p входят в элемент t . В действительности утверждение о полной семантической близости является не в полной мере истинным.

2. Семантическое подобие текстовых последовательностей, функция подобия

Пусть текстовый поток представлен последовательностью токенов $T = t_1 t_2 \dots t_m$. Обозначим множество токенов, входящих в последовательность T , через $T' = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, и построим отображение $Q = P \rightarrow T'$ таким образом, чтобы элементами отображения были пары (p_i, t_j) , где $p_i \in P$, $t_j \in T'$. Для каждой пары определим меру близости

как $Cprox(p_i, t_j) = w$ и дополним ею пару в отображении. После этого модифицированное отображение принимает вид

$$Q = \{(p_i, t_j, w_k), p_i \in P, t_j \in T', w_k = Cprox(p_i, t_j), 0 < w_k\} \quad (4)$$

Придадим мере близости w_k следующую трактовку, будем считать ее мерой присутствия характеристики p_i в текстовом потоке, а токен $t_j = (p_i, w_k)$, являющийся ее образом в отображении, будем считать семантическим следом характеристики p_i в текстовом потоке.

Пусть в языке сценариев $L(P)$ семантического объекта имеется некоторый сценарий $\alpha = p_{i1}p_{i2} \dots p_{ik}$, $\alpha \in P$ и существует его отображение в текстовый поток вида $T = \dots t_{r1} \dots t_{r2} \dots t_{rk} \dots$. Если из потока T удалить незначащие токены, обладающие нулевой степенью подобия с характеристиками, то получится некоторая последовательность токенов $\alpha' = t_{r1}t_{r2} \dots t_{rk}$, которая представля-

ет собой отображение сценария α на текстовый поток, будем ее считать семантическим следом данного сценария α в текстовом потоке. В дальнейшем подобное удаление незначащих токенов из текстового потока назовем его нормализацией.

Для оценки семантического подобия сценария α и семантического следа α' сконструируем функцию подобия $F(\alpha, \alpha')$. Значения функции нормализуем на интервале $0 \leq F(\alpha, \alpha') \leq 1$, а ее аргументами будем считать значения критериев близости характеристик и токенов, входящих в последовательности α и α' . С учетом данного обстоятельства функция подобия принимает вид

$$F(\alpha, \alpha') = F((Cprox(q_{i1}, t_{r1}), Cprox(q_{i2}, t_{r2}), \dots, Cprox(q_{ik}, t_{rk}))) = F(w_{r1}, w_{r2}, \dots w_{rk}) \quad (5)$$

Исходя из практических целей, для F можно выбирать различные виды аппроксимаций, например учитывать значимость характеристик, их роли и места в сценарии, обеспечивая тем самым тонкую настройку функции на различные ситуации. Для общего понимания можно F принять как средневзвешенную величину вида

$$F(\alpha, \alpha') = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k w_{ri}. \quad (6)$$

Как показывает практика, этого вполне достаточно во многих ситуациях. Очевидно, что значение функции подобия $F(\alpha, \alpha')$ также можно считать мерой присутствия сценария α семантического объекта в текстовом потоке.

3. Поиск семантических следов в текстовом потоке

Пусть своим характеристическим множеством P и множеством сценариев $L(P)$ задан семантический объект и имеется некоторый текстовый поток T . Требуется установить, присутствует ли сценарий α семантического объекта в текстовом потоке T , и оценить меру такого присутствия.

Подход к решению сводится к подбору из множества $L(P)$ такого сценария α , семантическим следом которого в потоке T является последовательность токенов α' с максимальной функцией подобия $F(\alpha, \alpha')$. Трудность состоит в том, что ни сценарий α , ни его семантический след α' заранее не известны, их требуется найти.

При конечном множестве сценариев $L(P)$ решение задачи можно свести к тривиальному методу перебора, но случай бесконечного множества требует иных подходов. Первый из них лежит на поверхности и представляет собой нейросетевой подход. Однако с ним не все просто – качественное обучение нуждается в тщательно подобранных статистических данных большого объема, которых зачастую нет, само обучение также нуждается в немалом времени, и, самое главное, никакой уверенности в точности результатов на реальных входных данных нет.

Более оптимистичен и точен формально-грамматический подход. В нем множество сценариев $L(P)$ рассматривается как язык некоей формальной грамматики $G[Z]$, в которой Z – начальный символ, множество P – терминальный словарь и сценарий α – предложение. Тогда процесс распознавания сценария α_i сводится к построению вывода $Z \Rightarrow^+ \alpha_i$ из начального символа грамматики по типу синтаксического анализа с одновременным вычислением функции подобия. Здесь под выводом $\Rightarrow^+$ понимается транзитивное замыкание отношения простого вывода на множестве цепочек грамматики, но для понимания вполне достаточно под ним понимать возможность вывода сценария α_i из начального символа грамматики.

Сконструируем для данного подхода укрупненный алгоритм выявления семантического следа объекта. Пусть текстовый поток нормализован и представлен по-

следовательностью токенов $T = t_1 t_2 \dots t_l$ и $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – характеристическое множество семантического объекта, а $L(P)$ – множество его сценариев, являющееся языком грамматики $G[Z]$. Для реализации алгоритма введем вспомогательную текстовую переменную $alpha$, в которой будем собирать искомым сценарий семантического объекта α , начальным значением переменной положим пустую цепочку λ . Если характеристика p_i использовалась при составлении сценария (катенирована с переменной $alpha + p_i$), то она помечается меткой использования. Также введем вспомогательную переменную s , в которой будем накапливать значение близостей отдельных следов характеристик из $alpha$ и ее начальным значением положим ноль.

Алгоритм:

1. Установить начальные значения $alpha = \lambda$ и $s = 0$.
 2. Последовательно для каждого токена t_i , $i = 1, 2, \dots, l$ текстового потока $T = t_1 t_2 \dots t_l$:
 - 2.1. Снять метки использования с характеристик множества $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$.
 - 2.2. Выбрать из непомеченных характеристик множества P характеристику с максимальным ненулевым значением $w_j = Cprox(p_j, t_i)$.
 - 2.3. Выполнить катенацию переменной $alpha$ с характеристикой p_j вида $alpha := alpha + p_j$, пометить характеристику p_j как использованную.
 - 2.4. Если вывод $Z \Rightarrow +alpha$ существует, то переменную s увеличить $s := s + w_j$, иначе характеристику откатенировать $alpha := alpha - p_j$, перейти к п. 2.2 алгоритма.
 3. Если $|alpha| \neq 0$, то вычислить функцию подобия $F = s/|alpha|$, где $|alpha|$ – длина собранного в переменной $alpha$ сценария.
- В результате выполнения алгоритма в переменной $alpha$ будет собран сценарий семантического объекта и вычислена степень его присутствия в текстовом потоке.

Следует отметить, что п. 2.4 алгоритма задает так называемый бектрекинг – откат на шаг назад, когда не найден вывод части сценария, собранного в переменной $alpha$. В этом случае выбранная характеристика отбрасывается и выполняется выбор новой из непомеченных характеристик множества P .

Формально-грамматический подход обладает хорошими точностными характеристиками и не требует обучения. Для его реализации необходима только формальная модель семантического объекта, которая при необходимости может быть уточнена. Однако трудоемкость алгоритма сильно зависит от вида выбранной формальной грамматики, которая задает процедуру вывода $Z \Rightarrow +alpha$ [16, с. 202–339]. Вопрос

подбора формальной грамматики для поиска быстрых решений требует отдельного обсуждения.

Формально-грамматический подход существенно упрощается и ускоряется, когда множество $L(P)$ является регулярным. Тогда грамматику можно представить регулярным выражением, значением которого будет множество $L(P)$, а вывод $Z \Rightarrow +alpha$ свести к последовательному разбору сценариев конечным распознавателем. Анализ естественно-языковых потоков показывает, что этот случай типичен на практике. Рассмотрим его.

Регулярное выражение представляет собой формулу алгебры, которая определяется аксиоматически через операции “|” – ИЛИ, “*” – катенации и “{ }” – итерации следующим образом:

1. $\emptyset$ (пустое множество), λ (пустая цепочка) и имена лингвистических характеристик $p_1, p_2, \dots, p_n$ – регулярные выражения по определению (аксиома, основание).
2. Если e_1 и e_2 – регулярные выражения, то $e_1 | e_2$ и $e_1 * e_2$ – также регулярные выражения. Обычно в регулярных выражениях знак операции $*$ опускают и не используют.
3. Если e – регулярное выражение, то $\{e\}$ – также регулярное выражение.
4. Других регулярных выражений нет.

Значением регулярного выражения E является множество последовательностей символов (характеристик) из P , обозначаемое как $|E|$:

$$|E| = \{ \alpha = p_{r1} p_{r2} \dots p_{rk}, p_{ri} \in P, \alpha \in L(P) \}. (7)$$

Конечный распознаватель для последовательностей $|E|$ представляется системой переходов. Ее диаграмма состояний имеет одно начальное состояние S , одно заключительное состояние Z , которые соединены обобщенной дугой E . Дуге E придается следующий смысл – любая цепочка $\alpha_i \in L(P)$ переводит распознаватель из состояния S в состояние Z . При конструировании распознавателя систему переходов путем декомпозиции (разложения формулы E на подформулы) приводят к виду, когда дуги представляются характеристиками p_i и пустой цепочкой λ , такую систему переходов называют приведенной. Разбор сценария $\alpha_i \in L(P)$ приведенной системой переходов происходит последовательно по образующим его характеристикам, что эквивалентно поиску пути из начального состояния S в конечное состояние Z . В работе [17, с. 124–162] рассмотрены теоретические основы конструирования конечных автоматов подобного рода.

Модифицируем описанный выше алгоритм выявления семантического объекта с учетом регулярности языка сценариев $L(P)$. Пусть нормализованный текстовый поток представлен последовательностью токенов $T = t_1 t_2 \dots t_p$, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – характеристическое множество семантического объекта, $L(P)$ – множество его сценариев и распознаватель сценариев представлен приведенной системой переходов, для которой множество Q – множество состояний распознавателя. Функции текстовой переменной $alpha$ и переменной s остаются без изменений. Введем дополнительно стек состояний St , в котором будут накапливаться состояния распознавателя из Q , входящие в найденный путь, и определим для него операции $\leftarrow$ (втолкнуть) и $\rightarrow$ (вытолкнуть). Для распознавателя также определим функцию переходов вида $q_i = M(q, p_i)$, которая по текущему состоянию q_i и характеристике p_i системы переходов определяет новое состояние q_i . Текущее состояние распознавателя будем сохранять во вспомогательной переменной q .

Алгоритм:

1. Положить начальные значения $alpha = \lambda$, $s = 0$, $St = St \leftarrow S$.
 2. Выполнять последовательно для каждого токена t_i , $i = 1, 2, \dots, l$ текстового потока $T = t_1 t_2 \dots t_l$ пока $S_k \neq Z$:
 - 2.1. Снять метки использования с характеристик множества $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$.
 - 2.2. Выбрать из непомеченных характеристик множества P характеристику p_j с максимальным и ненулевым значением $w_j = Cprox(p_j, t_i)$ и пометить характеристику p_j как использованную.
 - 2.3. IF переход $q = M(St, p_j)$ существует THEN
 - begin
 - 2.3.1. $St := St \leftarrow q$;
 - 2.3.2. Выполнить катенацию переменной $alpha$ с характеристикой p_j вида $alpha := alpha + p_j$;
 - 2.3.3. увеличить переменную s : $s := s + w_j$;
 - 2.3.4. $q := \text{Сост}(St, p_j)$
 - end
 - ELSE перейти к п. 2.2.
- Вычислить функцию подобия $F = s/|alpha|$.
- Отметим, что данный алгоритм работает намного быстрее, поскольку разбор сценария сводится к вычислению функции переходов. Основную трудоемкость алгоритма определяет только трудоемкость вычисления семантических близостей характеристик и токенов.

Предложенный формальный подход реализован в разработанном программном комплексе, включающем подсистему подготовки текстовых потоков, обеспечивающую их форматирование и токенизацию,

подсистему создания и редактирования семантических объектов, подсистему поиска и выявления семантических следов объектов и подсистему сравнения токенов на семантическую близость.

Подсистема подготовки обеспечивает приведение к единому формату текстовых потоков от различных источников и их токенизацию. Подсистема создания и редактирования семантических объектов в полуавтоматическом режиме позволяет анализировать представленные внешние неформализованные исходные данные о семантическом объекте, в которых отражены характерные черты и особенности поведения семантических объектов, и создавать по ним их формальные описания (характеристические множества, регулярные выражения и системы переходов). Формальные описания заносятся в базу данных семантических объектов, из которой передаются в другие подсистемы в формате JSON файлов. Подсистемы семантического сравнения токенов и выявления семантических следов семантических объектов реализуют основной функционал комплекса и обеспечивают поиск и идентификацию семантических следов в текстовых потоках, включая определение степени доверия к результатам.

Для тестирования программного комплекса и проведения экспериментов была разработана следующая реалистично подобная схема. Некий субъект К, обладая информацией о нерешенных проблемах некоего Ж и преследуя собственную цель, вступил с ним в чат-диалог. В процессе диалога К завоевывал доверие Ж, проявляя сочувствие к его проблемам, вовлекал в игровой тренинг, предлагая помощь, и на завершающем этапе требовал неукоснительного выполнения всех указаний. Диалог адаптировался под конкретную ситуацию и мог происходить по различным сценариям.

В данной схеме К моделировался семантическим объектом, чат соответствовал текстовому потоку. Программный комплекс по семантическим следам идентифицировал объект и оценивал степень его присутствия в потоке. В ходе экспериментов изучалось влияние точности описания семантического объекта на качество распознавания: описание уточнялось за счет добавления новых характеристик и расширения языка сценариев. Результаты показали, что точность идентификации росла с повышением детализации описания, однако после достижения определенного порога дальнейшее уточнение не приводило к значимому улучшению. Для повышения достоверности результатов генерировались

разнородные диалоговые потоки, и исследования подтвердили, что точность идентификации не зависела ни от размера потока, ни от его вида. Дополнительно результаты идентификации и исходные данные оценивались экспертной группой, чьи выводы согласовывались с полученными данными. Результаты тестовых испытаний показали работоспособность программного комплекса и подтвердили основные теоретические положения исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Основной результат исследования состоит в разработке нового формального подхода к выявлению текстов определенной семантической направленности по описаниям их источников. Для этого вербальное понятие «определенная семантическая направленность» моделируется множеством сценариев языка формальной грамматики некоторого гипотетического семантического объекта, сценарии представляются последовательностями характеристик семантического словаря, а направленность текста определяет семантическая близость сценарию. Трудность реализации подхода кроется в бесконечной множественности сценариев, а также в отсутствии информации о семантической направленности исходного текста. В таких условиях простой перебор невозможен и предложено предполагаемый сценарий конструировать.

Процесс конструирования организуется последовательным определением семантического сходства токенов текста характеристикам и их сборкой в последовательность, которая путем построения вывода в формальной грамматике, называемым разбором, проверяется на принадлежность языку сценариев. При положительном исходе разбора сценарий построен.

Степень семантического сходства текста и сценария определяется значением специально сконструированной функции семантического подобия.

Для реализации подхода разработаны общий и частный алгоритмы выявления текстов определенной семантической направленности. В общем алгоритме разбор сводится к построению вывода в формальной грамматике, для регулярных грамматик разбор выполняется системой переходов. Ускорение процесса достигается путем совмещения сборки сценария с грамматическим разбором, а также использованием механизма бэк-трекинга. Отличительная особенность состоит в том, что точность алгоритмов определяется только фактической близостью текстов сценариев.

Заключение

Новые задачи, поставленные практикой естественно-языковой обработки, в основе которых лежит выявление текстов определенной семантической направленности по формальному описанию их источников, потребовали разработки нового теоретического инструментария – методов, моделей и эффективных алгоритмов и программных реализаций. В предлагаемой работе такой подход разработан на основе положений вычислительной теории семантической интерпретации и теории формальных грамматик. В нем использованы понятия вычислительной теории семантической интерпретации – семантическое сравнение, критерий семантической близости. Отличительная черта предлагаемого подхода состоит в том, что его точность определяется вычисляемой степенью фактической семантической близости сценариев и текстов. Подход не требует процедур обучения, как это имеет место в нейросетевом подходе. Следует отметить, что особенности разработки программ и результаты экспериментов в работе упомянуты кратко, поскольку данный вопрос требует отдельного обсуждения.

Работа направлена на развитие фундаментальных основ математического моделирования фундаментальных и прикладных проблем естественно-языковой обработки для создания эффективных вычислительных алгоритмов виде комплексов проблемно-ориентированных программ на основе современного компьютерного инструментария.

Список литературы

1. Прохоренко Н.А., Дронов В.А. Python 3. Самое необходимое. СПб.: БХВ-Петербург, 2021. 605 с. [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_012485392/ (дата обращения: 16.02.2025).
2. Бенгфорт Б., Билбро Р., Охеда Т. Прикладной анализ текстовых данных на Python. Машинное обучение и создание приложений обработки естественного языка. СПб.: Питер, 2019. 368 с. [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_011955723/ (дата обращения: 16.02.2025).
3. Николаев И.С., Митренина О.В., Ландо Т.М. Компьютерная и прикладная лингвистика. М.: Ленанд, 2016. 320 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://pureportal.spbu.ru/publications/---\(fa123ecb-1a1c-4ee2-b364-8351fabff6c\)/export.html](https://pureportal.spbu.ru/publications/---(fa123ecb-1a1c-4ee2-b364-8351fabff6c)/export.html) (дата обращения: 16.02.2025).
4. Devlin Jacob, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, Toutanova Kristina. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings – 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, NAACL. 2019. Vol. 1 (Long and Short Papers), P. 4171–4186. DOI: 10.18653/v1/N19-1423.
5. Azhar Kassem Flayeh, Yaser Issam Hamodi, Nashwan Dheyaa Zaki. Text Analysis Based on Natural Language Processing (NLP) // Proceedings – 2nd International Conference on Advances in Engineering Science and Technology, AEST. 2022. P. 774–778. DOI: 10.1109/aest55805.2022.10413039.

6. Вишняков Ю.М., Вишняков Р.Ю. Формализация распознавания и идентификации семантических объектов в естественно-языковых текстовых потоках // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. № 4. С. 110–122. URL: https://izv-ti.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/985 (дата обращения: 16.02.2025).
7. Kai Hu, Huayi Wu, Kunlun Qi, Jingmin Yu, Siluo Yang, Tianxing Yu, Jie Zheng, and Bo Liu. A domain keyword analysis approach extending Term Frequency-Keyword Active Index with Google Word2Vec model // *Scientometrics* 114. March 2017. Vol. 114 (3). P. 1031–1068. DOI: 10.1007/s11192-017-2574-9.
8. Rik Koncel-Kedziorski, Hannaneh Hajishirzi, Ashish Sabharwal, Oren Etzioni, Siena Dumas Ang. Parsing algebraic word problems into equations // *Transactions of the Association for Computational Linguistics (TACL)*. 2015. Vol. 3. P. 585–597. DOI: 10.1162/tacl_a_00160.
9. Chandrapati L.M., Rao C.K. Descriptive Answers Evaluation Using Natural Language Processing // *IEEE Access*. June 2024. Vol. 12. P. 87333–87347. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3417706.
10. Aman Bhadouria, Pranav Gupta, Parish Bindal, Kapil Madan, Sonal Sonal. Automated Examination System using Machine Learning and Natural Language Processing // *Proceedings – 2024 Sixteenth International Conference on Contemporary Computing, IC3 2024*. 2024. P. 752–761. DOI: 10.1145/3675888.3676144.
11. Tianshuo Peng, Zuchao Li, Lefei Zhang, Hai Zhao, Ping Wang, Bo Du. Multi-modal Auto-regressive Modeling via Visual Tokens // *Proceedings – 32nd ACM International Conference on Multimedia, MM’24*. 2024. P. 10735–10744. DOI: 10.1145/3664647.3681685.
12. Modi A., Dhanjal Y.S., Larhgotra A. Semantic Similarity for Text Comparison between Textual Documents or Sentences // *Proceedings – 2023 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems, ICSES 2023*. 2023. P. 1–5. DOI: 10.1109/ICSES60034.2023.10465440.
13. Sonali Mhatre, Shilpa Satre, Mansi Hajare, Aditi Hire, Aniket Itankar, Shruti Patil. Text Comparison Based on Semantic Similarity // *Proceedings – 2023 3rd International Conference on Intelligent Technologies, CONIT 2023*. P. 1–5. DOI: 10.1109/CONIT59222.2023.10205616.
14. Aadeesh Bali, Aniket Bhagwat, Aditya Bhise, Sarang Joshi. Semantic Similarity Detection and Analysis for Text Documents // *Proceedings – 2024 Second International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering, ICETITE 2024*. P. 1–9. DOI: 10.1109/icETITE58242.2024.10493834.
15. Вишняков Ю.М., Вишняков Р.Ю. Вычислительная семантическая интерпретация текстов научно-технического стиля // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 12–2. С. 236–242.; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36428&ysclid=m77urlmrjv786427462> (дата обращения: 16.02.2025).
16. Льюис Ф., Розенкранц Д., Стирнз Р. Теоретические основы проектирования компиляторов / Пер. с англ. В.А. Исаева и др. Под ред. В.Н. Агафонова. М.: Мир, 1979. 645 с. [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007626193/?ysclid=m77v68mwqf194123846 (дата обращения: 16.02.2025).
17. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции / Пер. с англ. В.Н. Агафонова. Под ред. В.М. Курочкина. М.: Мир, 1978. Т. 1. 612 с. [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007597729/ (дата обращения: 16.02.2025).

УДК 004.942
DOI 10.17513/snt.40388

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИТЕРАЦИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЛНОГО ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Воробьев М.С., Орехов В.А., Бобков В.И., Быков А.А.

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске, Смоленск, e-mail: vorobeow.mischa@yandex.ru

Целью данного исследования являлось изучение алгоритмов расчета калориметрической температуры горения различных видов в условиях доменной плавки. В работе представлены результаты численного моделирования процессов сгорания, включая сравнительный анализ различных типов топлива и динамику горения в доменной печи. Выполнен расчёт нижней температуры сгорания топлива, при которой происходит преобразование продуктов горения в газообразное состояние и их удаление вместе с дымом. На основании имеющихся данных определены коэффициенты перерасчёта расхода воздуха, требующегося для полного сгорания единицы топлива. Установлено, что в условиях дефицита кислорода происходит неполное сгорание топлива, что приводит к его перерасходу и снижению экономических показателей, это актуально для доменных печей, которые составляют до 70% от общего расхода теплоносителей на металлургических предприятиях с полным циклом. Выявлена целесообразность применения попутного нефтяного газа в доменных печах предприятий черной металлургии с точки зрения повышения энергоэффективности и экологичности. Для определения калориметрической температуры горения топлива произведено сравнение численных методов итерации и интерполяции с созданием математической модели, которая позволяет повысить экономические показатели за счёт точности расчетов соотношения температуры, количества топлива и расхода воздуха в зоне горения. На основании эксперимента научно обоснована целесообразность применения газообразного топлива вместо твёрдого или жидкого. Разработанный численный метод реализован в комплексе программ для проведения вычислительного эксперимента с применением современных компьютерных технологий. Программа разработана с применением языка программирования C++ и кроссплатформенной среды Visual Studio, что гарантирует её работу на любой операционной системе. Наличие в программе существующей базы данных, содержащих основные химические показатели газообразного, жидкого или твёрдого топлива, позволяет автоматизировать процесс расчёта.

Ключевые слова: метод итераций, интерполяция, моделирование, горение, печь, топливо, температура горения

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

THE USE OF THE ITERATION METHOD FOR CALCULATING COMPLETE FUEL COMBUSTION IN BLAST FURNACES OF IRON AND STEEL ENTERPRISES

Vorobyov M.S., Orekhov V.A., Bobkov V.I., Bykov A.A.

Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute,
Smolensk, e-mail: vorobeow.mischa@yandex.ru

The purpose of this study was to investigate algorithms for calculating the calorimetric combustion temperature of various types of combustion under blast furnace melting conditions. The paper presents the results of numerical modeling of combustion processes, including a comparative analysis of various types of fuel and combustion dynamics in a blast furnace. The calculation of the lowest fuel combustion temperature has been performed, at which the combustion products transform into a gaseous state and are removed together with the smoke. Based on the available data, air flow recalculation coefficients required for complete combustion of a unit of fuel have been determined. It has been established that under conditions of oxygen deficiency, incomplete fuel combustion occurs, leading to its overconsumption and a decrease in economic performance, which is relevant for blast furnaces, which account for up to 70% of the total consumption of heat carriers at integrated steel plants. The feasibility of using associated petroleum gas in blast furnaces of ferrous metallurgy enterprises has been identified from the standpoint of improving energy efficiency and environmental friendliness. To determine the calorimetric temperature of fuel combustion, a comparison of numerical methods of iteration and interpolation has been made with the creation of a mathematical model, which allows increasing economic indicators due to the accuracy of calculations of the ratio of temperature, amount of fuel, and air flow in the combustion zone. Based on the experiment, the scientific rationale for the feasibility of using gaseous fuel instead of solid or liquid fuel has been scientifically substantiated. The developed numerical method is implemented in a set of programs for conducting a computational experiment using modern computer technologies. The program is developed using the C++ programming language and the cross-platform Visual Studio environment, which guarantees its operation on any operating system. The presence of an existing database in the program containing basic chemical parameters of gaseous, liquid, or solid fuel allows automating the calculation process.

Keywords: iteration method, interpolation, modeling, combustion, furnace, fuel, combustion temperature

The work was carried out within the framework of the state assignment, project No. FSWF-2023-0012.

Введение

На заводах чёрной металлургии и горно-обогатительных комбинатах наибольшее распространение получили следующие виды топлива: кокс, каменные и бурые угли, природный, доменный и коксовый газы [1; 2]. В связи с выработкой газовых и нефтяных месторождений может вновь возрасти роль генераторных газов [3]. При процессе горения возможны колебания параметров подаваемого в зону горения топлива, что приводит к изменению калориметрической температуры горения и изменениям в технологическом процессе работы плавильной печи [4]. В зависимости от химического состава руды, загружаемой в доменные или агломерационные печи, может потребоваться изменение состава рабочего топлива [5; 6]. Такая необходимость возникает, например, при определении состава горючей массы кокса для расчёта шихты доменной плавки [7]. Состав сухого газообразного топлива на рабочее пересчитывают с использованием коэффициента пересчёта, а также процент водяных паров по объёму в топливе [8].

Цель исследования – разработка численных методов определения калориметри-

ческой температуры горения газообразного, твёрдого или жидкого топлива в условиях доменной плавки.

Материалы и методы исследования

На предприятиях черной металлургии и агломерационных фабриках преимущественно используется полное сжигание топлива в зоне горения. При полном сжигании топлива в продуктах горения присутствуют только высшие окислы и простые газы CO_2 , H_2O , SO_3 , N_2 , O_2 [9]. Расчёты полного горения топлива ведутся в соответствии с химическими реакциями полного горения компонентов топлива. Эти расчёты не отражают динамику процесса горения и проводятся на основе простых уравнений теплового и материального баланса. Целесообразно определять теплоту сгорания топлива при условии, когда продукты горения находятся в газообразном состоянии, то есть температура их больше 100°C , так как это соответствует условиям удаления дыма из печи. Теплота сгорания топлива, определённая для таких условий, называется низшей – $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$. Так как состав твёрдого, жидкого и газообразного топлива определён различным способом, то формулы для определения $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ также различаются.

Для твердого и жидкого топлива (табл. 1) чаще всего употребляется формула:

$$Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 340C^{\text{p}} + 1030H^{\text{p}} - 109(O^{\text{p}} - S^{\text{p}}) - 25W^{\text{p}} \text{ кДж/кг},$$

для газообразного (табл. 2) используют формулу:

$$Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 127.7\text{CO} + 108\text{H}_2 + 358\text{CH}_4 + 596\text{C}_2\text{H}_4 + 564\text{C}_2\text{H}_2 + \\ + 636\text{C}_2\text{H}_6 + 913\text{C}_3\text{H}_8 + 1185\text{C}_4\text{H}_{10} + 1465\text{C}_5\text{H}_{12} + 234\text{H}_2\text{S} \text{ кДж/м}^3.$$

Таблица 1

Элементарный состав некоторых видов твёрдого и жидкого топлива [10]

Топливо	C ^p	H ^p	O ^p	N ^p	S ^p	A ^p	W ^p
Торф	30.36	3.31	19.87	1.49	0.17	4.8	40
Бурый уголь	32.7	2.44	11.71	0.46	1.45	16.24	35
Кокс	85.51	0.69	0.13	0.17	0.7	9.6	3.2
Мазут	83.76	10.22	0.48	0.47	0.57	0.5	4.0
Бензин	85.0	14.9	0.05	-	0.05	-	-
Керосин	86.0	13.7	0.1	0.1	0.1	-	-
Соляровое масло	86.5	12.8	0.15	0.15	0.4	-	-
Смола перегонная	85.72	5.79	3.68	3.58	0.78	0.15	0.3

Таблица 2

Состав некоторых видов газообразного топлива [10]

Вид топлива	Составляющая газообразного топлива										
	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	f _в
Природный газ	-	-	93.21	-	4.11	0.8	0.23	0.36	-	1.29	-
Коксовальный газ	55	6	27	1.5	0.8	0.6	-	-	-	9	35
Доменный газ	2.1	29	0.5	0.4	-	-	-	-	10	58	30
Попутный газ нефтяных месторождений	-	-	43	-	14.8	15.6	7.8	3.3	2.8	12.7	-

Теоретическим расходом воздуха L_o^B называют минимальное количество воздуха, требующееся для полного сгорания единицы (массы или объёма) топлива. Для расчёта L_o^B необходимо определить минимальный объём кислорода для полного сжигания единицы топлива – $V_{O_2}^{теор}$, так как азот не принимает участия в горении [11; 12]. Объём $V_{O_2}^{теор}$ определяют в соответствии со стехиометрическими коэффициентами в реакциях полного горения по формулам:

а) для твёрдого и жидкого топлива

$$V_{O_2}^{теор} = 0.01 \cdot [1.867C^P + 5.6H^P - 0.7(S^P - O^P)], \text{ м}^3 / \text{кг топлива};$$

б) для газообразного топлива

$$V_{O_2}^{теор} = 0.01 \cdot [0.5H_2 + 0.5CO + 1.5H_2S + \sum (m + n / 4) C_m H_n - O_2], \text{ м}^3 / \text{м}^3 \text{ топлива}.$$

Если обозначить объёмную долю кислорода в воздухе, идущем на горение – K_{O_2} , то теоретически необходимое количество воздуха определяется по формуле $L_o^B = V_{O_2}^{теор} / K_{O_2}$. Действительный расход воздуха L_d^B – это количество воздуха, в действительности подающееся на горение топлива, оно может быть меньше и больше теоретически необходимого [13; 14]. Для характеристики полноты горения введено понятие коэффициента расхода воздуха $n = L_d^B / L_o^B$. Понятно, что если $n \geq 1$, то горение полное, если $n < 1$, то горение не полное. При полном горении топлива рекомендуются следующие значения расхода воздуха:

- для газообразного топлива

$$n = 1.05 \div 1.1;$$

- для жидкого топлива

$$n = 1.15 \div 1.2;$$

- для твёрдого топлива при факельном горении

$$n = 1.2 \div 1.3.$$

Так как составляющие продуктов горения известны, то определение объёма продуктов полного горения дыма сводится к определению объёмов отдельных составляющих V_{CO_2} , V_{SO_2} , V_{H_2O} , V_{N_2} , V_{O_2} в соответствии с реакциями горения и к суммированию их для получения объёма дыма V_d . Состав дыма в % по объёму находится обычным способом, а расчёт V_d для твёрдых и жидких топлив производится по формулам:

$$V_{CO_2} = 0.01867C^P \text{ м}^3_{CO_2} / \text{кг топлива},$$

$$V_{SO_2} = 0.007S^P \text{ м}^3_{SO_2} / \text{кг топлива},$$

$$V_{H_2O} = 0.112H^P + 0.01242W^P + 0.00124f_v L_o^B \text{ м}^3_{H_2O} / \text{кг топлива},$$

$$V_{N_2} = 0.008N^P + (1 - K_{O_2}) L_d^B \text{ м}^3_{N_2} / \text{кг топлива},$$

$$V_{O_2}^{наб} = (n - 1) K_{O_2} L_d^B \text{ м}^3_{O_2} / \text{кг топлива},$$

$$V_d = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2}^{наб} \text{ м}^3 \text{ дыма} / \text{кг топлива}.$$

Для газообразного топлива:

$$V_{\text{CO}_2} = 0.01 \cdot [\text{CO}_2 + \text{CO} + \sum m C_m \text{H}_n], \text{ м}^3_{\text{CO}_2} / \text{м}^3 \text{ топлива},$$

$$V_{\text{SO}_2} = 0.01 \text{H}_2\text{S}, \text{ м}^3_{\text{SO}_2} / \text{м}^3 \text{ топлива},$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0.01(\text{H}_2 + \sum n / 2 C_m \text{H}_n + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}) + 0.00124 f_{\text{в}} L_{\text{д}}^{\text{в}} \text{ м}^3_{\text{H}_2\text{O}} / \text{кг топлива},$$

$$V_{\text{N}_2} = 0.01 \text{N}_2 + (1 - K_{\text{O}_2}) L_{\text{д}}^{\text{в}} \text{ м}^3_{\text{N}_2} / \text{кг топлива}.$$

Результаты исследования и их обсуждение

Калориметрическая температура горения $t_{\text{кал}}$ – это температура, которую имели бы продукты горения, если бы всё тепло, внесённое в очаг горения и выделившееся при горении, пошло бы на их нагревание. $t_{\text{кал}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{кал}} = \frac{Q_{\text{н}} + Q_{\text{фв}} + Q_{\text{фт}} - Q_{\text{хн}}}{V_{\text{д}} \cdot c_{\text{д0}}^{\text{кал}}}, \quad (1)$$

полученной из уравнения теплового баланса, где $Q_{\text{фв}} = L_{\text{д}}^{\text{в}} c_{\text{в0}}^{\text{н}} t_{\text{в}}$ – тепло, внесённое в очаг горения нагретым воздухом, кДж/м³, $Q_{\text{фт}} = c_{\text{т0}}^{\text{т}} t_{\text{т}}$ – тепло, внесённое в очаг горения нагретым топливом, кДж/м³, $Q_{\text{хн}}$ – теплота химического недожога топлива, $c_{\text{в0}}^{\text{н}}$, $c_{\text{т0}}^{\text{т}}$, $c_{\text{д0}}^{\text{кал}}$ – удельные, средние теплоёмкости воздуха, топлива и дыма.

Если ввести некоторые стандартные условия при расчёте калориметрической температуры горения, то получается удобное понятие для сравнения различных видов топлива между собой – стандартная калориметрическая температура горения $t_{\text{кал}}^0$, называемая также иногда жаропроизводительностью [15; 16]. Стандартные условия следующие:

1) подогрев топлива и воздуха отсутствует – $t_{\text{г}} = t_{\text{в}} = 0^\circ\text{C}$;

2) химический недожог отсутствует – $Q_{\text{хн}} = 0$;

3) сгорание топлива идёт с коэффициентом избытка воздуха $n = 1$;

4) горение идёт при стандартных внешних условиях: атмосферное давление – 760 мм рт. ст., температура окружающей среды 0°C . При этих условиях

$$t_{\text{кал}} = t_{\text{кал}}^0 = \frac{Q_{\text{н}}}{V_{\text{д}} \cdot c_{\text{д0}}^{\text{кал}}}. \quad (2)$$

Прямое определение $t_{\text{кал}}$ по формулам (1), (2) невозможно, так как $c_{\text{д0}}^{\text{кал}}$ зависит от $t_{\text{кал}}$, которая неизвестна, поэтому в расчётной практике используют три способа

определения калориметрической температуры горения: 1) метод итераций; 2) интерполяционный способ; 3) с использованием i - t диаграммы (или её компьютеризированного аналога) для дыма расчётного состава.

Метод итераций или последовательных приближений состоит в том, что в первом приближении произвольно задаются некоторым значением калориметрической температуры – $t_{\text{кал}}^{(1)}$ определяют $c_{\text{д0}}^{\text{кал}(1)}$, а затем по формуле (1) или (2) определяют значение калориметрической температуры во втором приближении – $t_{\text{кал}}^{(2)}$. Затем находят разность

$\Delta = |t_{\text{кал}}^{(2)} - t_{\text{кал}}^{(1)}|$ и сравнивают её с некоторым наперёд заданным значением этой разности – δ $^\circ\text{C}$, которая характеризует точность расчёта. Если $\Delta > \delta$, то делают следующий шаг, если $\Delta < \delta$, то считают, что $t_{\text{кал}}^{(2)} = t_{\text{кал}}$. В общем случае $t_{\text{кал}} = t_{\text{кал}}^{(i)}$, если $|t_{\text{кал}}^{(i)} - t_{\text{кал}}^{(i-1)}| < \delta$. Метод удобен при программной реализации на компьютере. На рисунке 1 представлена форма ввода типа топлива и его химического состава для расчета калориметрической температуры и низшей теплоты сгорания и параметров металлургической печи. Интерфейс позволяет выбрать вид и топливо с автоматическим заполнением формы химического состава.

В методе интерполяции калориметрическую температуру горения определяют по калориметрическому теплосодержанию:

$$i_{\text{кал}} = \frac{Q_{\text{н}} + Q_{\text{фв}} + Q_{\text{фт}} - Q_{\text{хн}}}{V_{\text{д}}}.$$

Для этого задаются некоторым значением температура дыма $t_{\text{д1}}$, рассчитывают соответствующее ей удельное теплосодержание i_1 , сравнивают i_1 и $i_{\text{кал}}$. Пусть $i_{\text{кал}} > i_1$, тогда выбираем значение $t_{\text{д2}}$, такое, чтобы $t_{\text{кал}} < i_2$, и определяем $t_{\text{кал}}$ по интерполяционной формуле:

$$t_{\text{кал}} = t_{\text{д1}} + \frac{t_{\text{д2}} - t_{\text{д1}}}{i_2 - i_1} (i_{\text{кал}} - i_1).$$

1. Выбор топлива

Вид топлива:

Топливо:

Избыточное давление дутья: кПа

Скорость дутья: м/с

Фокус горения: °C

2. Состав выбранного газообразного топлива

H ₂	-	C ₂ H ₆	14.8	CO ₂	2.8
CO	-	C ₃ H ₈	15.6	N ₂	12.7
CH ₄	-	C ₄ H ₁₀	7.8	f ₀	-
C ₂ H ₄	43	C ₃ H ₁₂	3.3		

Рис. 1. Форма ввода параметров топлива
Источник: составлено авторами

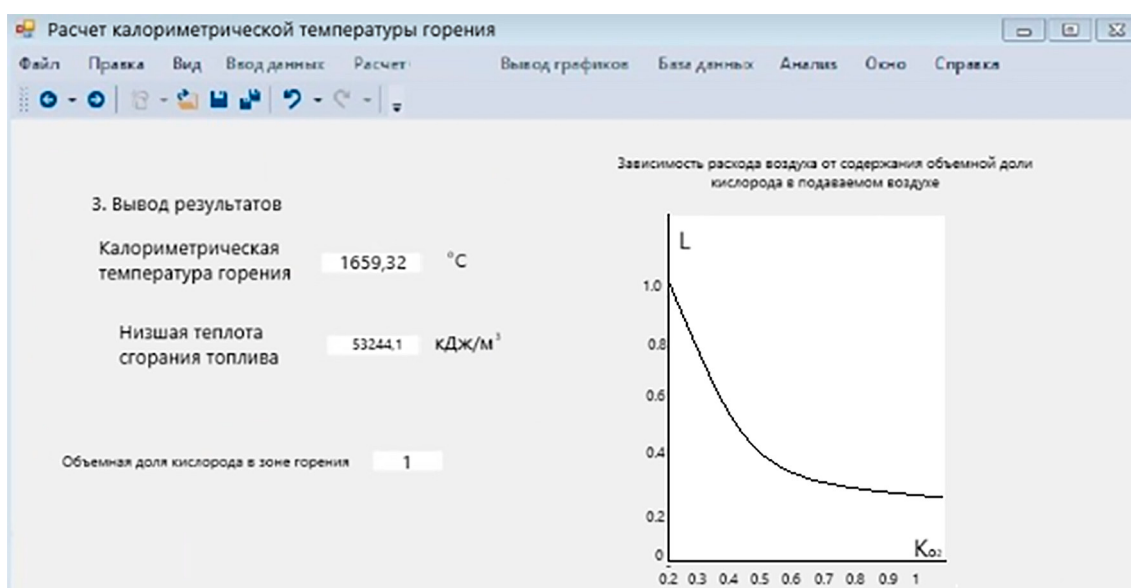


Рис. 2. Графическое представление результатов расчёта
Источник: составлено авторами

При графическом способе определения $t_{\text{кал}}$ следует иметь диаграмму зависимости удельного теплосодержания дыма расчетного состава от температуры и по известному удельному калориметрическому теплосодержанию определять $t_{\text{кал}}$.

Графические способы определения результатов процесса горения базируются на формулах, приведенных выше. Форма представления графиков может быть различной, обычно чем больше требование

к полноте расчёта, тем сложнее получаются графики зависимостей, а точность определения снижается.

Авторами разработан комплекс программ для компьютеризированного расчёта полного горения разнообразного топлива и построения графика зависимости расхода воздуха, с использованием предложенного метода итераций (рис. 2). Результаты вычислительных экспериментов по расчёту $V_{\text{д}}^{\text{отн}}$ и $L_{\text{д}}^{\text{в}}$ приведены на рисунках 3, 4.

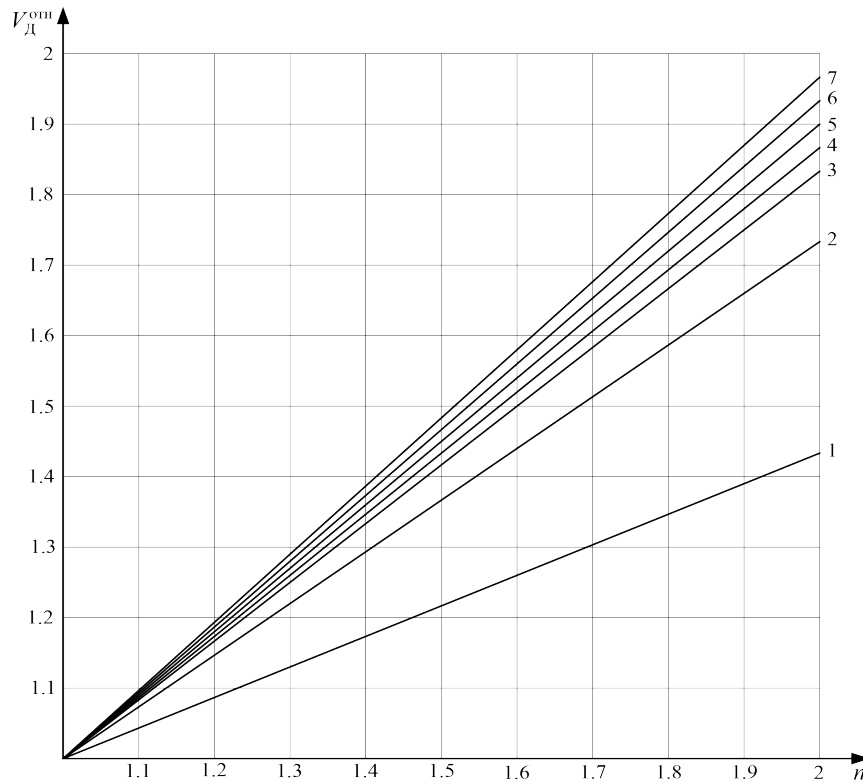


Рис. 3. Зависимость безразмерного удельного выхода дыма от коэффициента расхода воздуха при $K_{O_2} = 0.21$ для некоторых промышленных видов топлива:

1 – доменный газ; 2 – КДС 10МДж/м³; 3 – бурый уголь; 4 – коксовый газ;
5 – природный газ; 6 – смесь 75% природного газа, 25% мазут; 7 – мазут.

Значения V_d^0 м³ дыма/м³ (кг) топлива: 1 – 1.57; 2 – 3.11; 3 – 3.87; 4 – 4.95; 5 – 11.71; 6 – 14.01; 7 – 10.8

Источник: составлено авторами

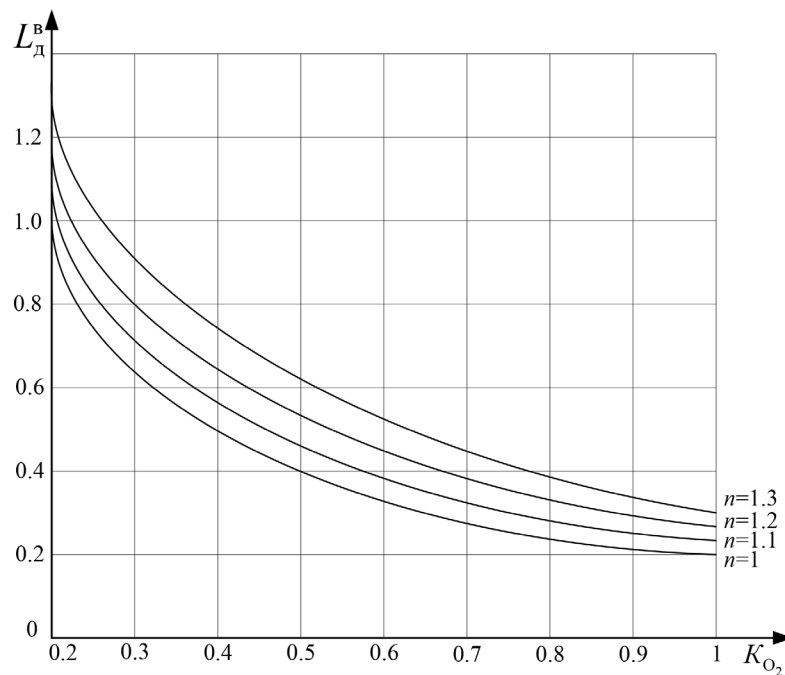


Рис. 4. Зависимость относительного действительного расхода воздуха от объёмной доли кислорода в воздухе

Источник: составлено авторами

Заключение

Результатом исследования стала программа для упрощения и автоматизации расчетов зависимости безразмерного выхода дыма от коэффициента расхода воздуха для обеспечения полноты сгорания топлива. Наличие встроенной базы данных, содержащих химический состав различных типов топлива, сокращает время процесса ввода данных в программу. Определено, что лучшие показатели теплоты сгорания и пониженного удельного выхода дыма были у попутного нефтяного газа. Его использование в доменных печах помогает избежать потери ценного ресурса в процессе нефтедобычи. В исследовании было проведено сравнение методов итерации и интерполяции для точного определения калориметрической температуры горения. Для программной реализации наиболее точным является метод итерации, так как он имеет превосходство по скорости расчёта по сравнению с другими численными методами и более удобен в реализации на практике.

Выводы

На основании проведённого исследования можно сделать выводы:

- установлено минимальное необходимое количество воздуха для полного сгорания единицы топлива;
- проведено сравнительное исследование численных методов определения калориметрической температуры горения, что позволило выбрать наиболее эффективный и точный способ расчёта;
- научно обоснована эффективность применения попутного нефтяного газа в доменных печах предприятий чёрной металлургии.

Список литературы

1. Кокшаров В.А., Киршина И.А. Стратегия энергопотребления природного газа предприятиями черной металлургии // Микроэкономика. 2020. № 4. С. 38-46. DOI: 10.33917/mic-4.93.2020.38-46.
2. Magerramova T.M., Dadashev K.E. Automation of the technological coke production process // Флагман науки. 2025. № 2 (25). Р. 191-193. DOI: 10.37539/2949-1991.2025.25.2.018.
3. Безуглов Р.В., Воловиков В.Ю., Папин В.В., Белов А.А., Дьяконов Е.М., Михайлов В.В. Исследование процесса выработки электрической энергии от генераторного газа, полученного путем переработки твердых отходов //

Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2024. Т. 67. № 4. С. 125-133. EDN: AQPOQE.

4. Рядинская А.П., Череповицына А.А. Утилизация попутного нефтяного газа в России: методы и перспективы производства продуктов газохимии // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2022. Т. 25. № 2 (76). С. 19-34. DOI: 10.37614/2220-802X.2.2022.76.002.

5. Сеченов П.А. Выбор критериев для сокращения неизвестных в методе Ньютона-Рафсона в задаче нахождения равновесного состава железной руды и топлива // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2024. № 5. С. 82-90. DOI: 10.17588/2072-2672.2024.5.082-090.

6. Прохоров С.Г., Глазунов С.А. Повышение энергоэффективности плавильной печи // Нефтегазовое дело. 2021. № 1. С. 5-12. DOI: 10.17122/ogbus-2021-1-5-12.

7. Иванов А.В. Повышение эффективности доменной плавки в результате стабилизации влажности кокса // Наука и производство Урала. 2020. Т. 16. С. 15-17. EDN: THVAKB.

8. Кузин А.В., Афанасьева З.К., Падалка А.В., Кочура В.В., Кураковская А.В. Повышение эффективности технологии доменной плавки при вдувании пылеугольного топлива // Металлург. 2024. № 7. С. 16-21. EDN: XVQSSO.

9. Калинин В.В., Черненко А.С. Влияние давления газовой смеси на характеристики зажигания, горения и самопроизвольного погасания коксов углей разного полиморфизма // Физика горения и взрыва. 2021. Т. 57. № 2. С. 96-103. DOI: 10.15372/FGV20210210.

10. Семикин И.Д., Аверин С.И., Радченко И.И. Топливо и топливное хозяйство металлургических заводов. М.: Металлургия, 1965. 391 с.

11. Росляков П.В., Сергеева А.В., Гусева Т.В., Рудомазин В.В., Черкасский Е.В. Отраслевая методика оценки выбросов CO₂ при сжигании органических видов топлива на предприятиях теплоэнергетики // Энергетик. 2024. № 3. С. 29-39. DOI: 10.34831/EP.2024.42.46.006

12. Васильев М.И., Андреев С.М., Васильев И.И. Регулятор подачи воздуха в рабочее пространство тепловой установки, основанный на нечеткой логике // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. № 2. С. 99-121. URL: https://vestnik.pstu.ru/matmech/archives/?id=&folder_id=9395. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.

13. Васильев М.И., Андреев С.М., Васильев И.И. Нечеткое управление подачей воздуха в рабочее пространство тепловой установки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2020. № 2. С. 137-159. DOI: 10.15593/2224-9400/2020.2.11.

14. Титов В.Н., Карпов А.В., Хоперский Р.И. Аналитическая оценка поведения биоугля как дополнительно вдуваемого топлива в условиях доменной плавки // Черные металлы. 2022. № 8. С. 4-9. URL: <https://rudmet.com/journal/2135/article/35554/>. DOI: 10.17580/chm.2022.08.01.

15. Рутковский А.Л., Макоева А.К., Бутов Х.А., Хмара В.В. Процессы факельного горения топлива в промышленных вращающихся печах барабанного типа // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 8 (122). С. 8-14. EDN: XOSUUC.

16. Белозеров В.В. О вероятностно-физическом и энтропийном подходах к процессам горения и определения пожарной опасности // Безопасность техногенных и природных систем. 2021. № 4. С. 36-51. DOI: 10.23947/2541-9129-2021-4-36-51.

УДК 519.853

DOI 10.17513/snt.40389

ЗАДАЧИ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТЫ РОБОТОВ-ЛАБОРАНТОВ

Калинин В.Ф., Погонин В.А.*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
Тамбов, e-mail: vfkalinin@rambler.ru*

Цель данного исследования заключается в разработке теории решения задач гарантированного нелинейного программирования, направленной на управление группой роботов-лаборантов. Присутствие мутагенных и канцерогенных веществ в рабочей среде подчеркивает необходимость регулярного мониторинга, включая анализ проб воздуха в лаборатории. Это создает потребность в использовании специализированных групп роботов-лаборантов, которые будут выполнять различные задачи на разных устройствах в разные промежутки времени. Поскольку ошибки в действиях этих роботов могут вызвать серьезные последствия, требуется разработка новых алгоритмов управления для повышения их точности. При значительных колебаниях времени работы роботов-лаборантов наблюдается замедление роста экономической эффективности при увеличении частоты отбора проб, и на определенном уровне частоты дальнейшее увеличение становится менее заметным. В условиях значительных изменений времени работы роботов-лаборантов целевая функция имеет нелинейный характер. Поэтому задачи оптимизации времени работы роботов-лаборантов относятся к классу нелинейных задач. Методы используют имитационное моделирование, теорию оптимального управления, статистику. В работе развиты теоретические основы решения задач нелинейного программирования с эквивалентной детерминированной задачей. Итогом исследования является разработка концепции функционирования коллектива роботов, учитывающая условия безопасности химико-технологических процессов.

Ключевые слова: нелинейное программирование, робот, управление, химико-технологические процессы

PROBLEMS OF NONLINEAR PROGRAMMING IN PLANNING THE WORK OF ROBOTIC LABORATORY ASSISTANTS

Kalinin V.F., Pogonin V.A.*Tambov State Technical University, Tambov, e-mail: vfkalinin@rambler.ru*

The purpose of this study is to develop a theory for solving problems of guaranteed nonlinear programming aimed at controlling a group of robotic laboratory assistants. The presence of mutagenic and carcinogenic substances in the work environment highlights the need for regular monitoring, including analysis of air samples in the laboratory. This creates the need for specialized teams of robotic laboratory technicians who will perform different tasks on different devices at different intervals of time. Since errors in the actions of these robots can cause serious consequences, the development of new control algorithms is required to improve their accuracy. With large fluctuations in the operating time of robot laboratory assistants, there is a slowdown in the growth of economic efficiency as the frequency of sampling increases, and at a certain frequency level, further increases become less noticeable. In the context of significant changes in the operating time of laboratory robots, the objective function has a nonlinear nature of tasks. The methods use simulation modeling, optimal control theory, and statistics. The theoretical foundations of solving nonlinear programming problems with an equivalent deterministic problem are developed in the work. The result of the study is the development of a concept for the functioning of a team of robots, taking into account the safety conditions of chemical and technological processes.

Keywords: nonlinear programming, robot, control, chemical and technological processes

Введение

Важно отметить, что наличие мутагенных и канцерогенных веществ в рабочей среде подчеркивает необходимость регулярного мониторинга уровня загрязнения. Это создает потребность в использовании группы роботов-лаборантов (РЛ) на химических предприятиях, которые выполняют специфические задачи на технологических объектах в разные временные промежутки [1; 2, с. 201; 3]. Ошибки в работе бригады РЛ могут привести к серьезным последствиям.

Цель исследования – разработка теории для решения задач гарантированного

нелинейного программирования, направленной на управление группой роботов-лаборантов. Создание новых алгоритмов управления, учитывающих случайные воздействия, и обеспечение технических требований с заданной вероятностью.

Материалы и методы исследования

В процессе управления бригадой РЛ в рамках роботизированных систем управления важно определить задачи, выполняемые отдельным роботом-лаборантом, а также установить заданное время [4–6] для обслуживания конкретных технологических объектов.

Методы используют имитационное моделирование, теорию оптимального управления, статистику. В работе развиты теоретические основы решения задач нелинейного программирования с эквивалентной детерминированной задачей. Эффективность распределения задач между роботам на выполнение этих задач. Например, более частый забор проб для лабораторного анализа в роботизированных автоматизированных системах управления позволяет быстрее корректировать управляющую программу, что, в свою очередь, повышает эффективность их работы [7–9]. В условиях значительного изменения диапазона времени работы робота-лаборанта наблюдается, что увеличение частоты забора проб приводит к снижению темпов роста экономического эффекта. Высокая частота отбора проб и дальнейшее ее увеличение оказывает лишь незначительное влияние на результаты. Это указывает на то, что в условиях больших колебаний времени загрузки робота-лаборанта целевая функция, отражающая эффективность технологического процесса, проявляет нелинейную зависимость от частоты забора проб [10–12]. В таком случае задачи минимизации времени функционирования РЛ относятся к классу нелинейных задач оптимизации [13–15].

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим задачу гарантированного нелинейного программирования с учетом случайной величины v :

$$Q(U) = f(U) + v, \quad (1)$$

где $U = (U_1, \dots, U_n)$, $f(U)$ – нелинейная функция, U – управляющие воздействия (силы, моменты, создаваемые приводами робота).

Технические (гарантируемое отсутствие столкновений звеньев манипулятора робота между собой и с препятствием (технологическое оборудование, трубопроводы, запорная арматура, робот-лаборант и др.) и технологические (параметры продуктов (полупродуктов), сырья, среды) условия имеют вид

$$\varphi(U) = \psi_i(U) + v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где $\psi_i(U)$ – нелинейная функция, v_i – случайная величина.

Считаем, что случайные величины $v_1, \dots, v_m$ независимы, не зависят от вектора U управляющих воздействий и заданы своими известными плотностями распределения $\omega(v)$, $\omega_i(v_i)$.

Тогда задача определяется так: найти вектор $u^* \in U$, и здесь минимизируется математическое ожидание функции (1):

$$M[Q(u^*)] = \min_{u \in U} M[f(U) + v] = \min_{u \in U} \bar{v} + f(U), \quad (3)$$

где $\bar{v}$ – математическое ожидание случайной величины v , и вероятность P выполнения условий (2) не ниже:

$$P[\psi_i(U) + v_i \geq 0] \geq \sigma_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

где σ_i – заданное значение вероятности выполнения i -го технологического условия (2) и $U_i \geq 0$.

Задача (3), (4), задача нелинейного надежного программирования, определена в виде: определить вектор $u^* \in U$, здесь минимизируется целевая функция (чаще всего в качестве целевой функции используют энергетические затраты, минимальное количество движений звеньев манипулятора):

$$\bar{Q}(U) = \bar{v} + f(U) \rightarrow \min \quad (5)$$

и удовлетворяются ограничения

$$\int_{E_i} \omega_i(v_i) dv_i \geq \delta_i, \quad i = 1, \dots, m. \quad (6)$$

$$E_i = [v_i | \psi(U) + v_i \geq 0], U_i \geq 0. \quad (7)$$

Задачей эквивалентности является задача линейного программирования: найти n -мерный вектор $U = (u_1, \dots, u_n)$, здесь минимизируется значение целевой функции:

$$q(U) = f(U) + v \rightarrow \min \quad (8)$$

и ограничениях

$$\psi_i(U) \geq -t_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (9)$$

определяется:

$$\int_{t_i}^{\infty} \omega_i(v_i) dv_i = \delta_i, \quad U_i \geq 0. \quad (10)$$

Теорема 1.

Задача надежного нелинейного программирования (5)–(7) с суммируемой случайной величиной тождественно эквивалентной задаче линейного программирования (8)–(10).

Доказательство.

Для задачи нелинейного программирования (5)–(7) условия (6) выполняются в том случае, если

$$\int_{-\Psi(U)}^{\infty} \omega(v_i) dv_i \geq \delta_i. \quad (11)$$

Параметр t_i , определится из условия

$$\int_{t_i}^{\infty} \omega(v_i) dv_i = \delta_i. \quad (12)$$

Если для t_i условие (12) выполнено, в том случае (11) тоже будет выполнено, если

$$-\Psi(U) \leq t_i$$

или $\Psi(U) \geq -t_i$, $i = 1, m$.

Так, в этом случае с учетом (12):

$$\int_{-\Psi(U)}^{\infty} \omega(v_i) dv_i \geq \int_{t_i}^{\infty} \omega(v_i) dv_i = \delta_i.$$

Соответственно, условия (9), (10) эквивалентны условиям (6), (7) задачи управления, целевые функции (8) и (5) совпадают.

Теорема 1 доказана.

Задача надежного нелинейного программирования с суммированной случайной величиной преобразована в детерминированную задачу нелинейного программирования (8)–(10) с ограничением (9), где используется величина t_i , определяемая на основе (12). Теперь обратим внимание на задачу нелинейного программирования с мультипликативным вхождением случайной величины.

Рассматриваем задачу оптимизации, в которой целевая функция имеет вид

$$Q(U) = f_1(U) + v f_2(U), \quad (13)$$

где $f_1(U)$ и $f_2(U)$ – нелинейные функции; v – случайная величина.

Ограничения имеют следующую форму:

$$\Phi_i(U, v) = \psi_i^0 + v_i \psi_i^1(U) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (14)$$

где ψ_i^0, ψ_i^1 – нелинейные функции и $U_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, m$.

Выяснилась задача надежного управления.

Найти вектор $U^* \in U$, при котором минимизируется математическое ожидание функции (13):

$$\begin{aligned} M[Q(U^*)] &= \min M[f_1(U) + v f_2(U)] = \\ &= \min[f_1(U) + \bar{v} f_2(U)]. \end{aligned} \quad (15)$$

Вероятность P выполнения условий (14) – не ниже значений δ_i :

$$P[\psi_i^0(U) + v_i \psi_i^1(U) \geq 0] \geq \delta_i \quad (16)$$

$$\text{и } U_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (17)$$

Тогда задача надежного управления (15)–(17), при котором принимает мини-

мальное значение целевой функционал обозначится:

$$\bar{Q}(U) = f_1(U) + \bar{v} f_2(U) \rightarrow \min, \quad (18)$$

где $\bar{v}$ – математическое ожидание случайной величины v , и удовлетворяются ограничения

$$\int_{E_i} \omega(v_i) dv_i \geq \delta_i, \quad (19)$$

где $E_i = \{v_i | \psi_i^0(U) + v_i \psi_i^1(U) \geq 0\}$ и $U_i \geq 0$.

Эквивалентной задачей будем называть следующую задачу нелинейного программирования.

Определить n -мерный вектор

$$U = (U_1, U_2, \dots, U_n),$$

при котором принимает минимальное значение целевая функция:

$$q(U) = f_1(U) + \bar{v} f_2(U) \rightarrow \min \quad (20)$$

при удовлетворении ограничений

$$\begin{aligned} \psi_1^0(U) + t_i^1 \psi_i^1(U) &\geq 0, \\ \psi_1^0(U) + t_i^2 \psi_i^1(U) &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (21)$$

и t_i^1, t_i^2 определяются из соотношений

$$\int_{t_i^1}^{\infty} \omega(v_i) dv_i = \delta_i, \quad \int_{-\infty}^{t_i^2} \omega(v_i) dv_i = \delta_i, \quad (22)$$

$$U_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Определилась следующая вспомогательная лемма.

Лемма 1.

Имеем в виду, что множества $\hat{U}_1, \hat{U}_2$ определяются следующими неравенствами:

$$\hat{U}_1 = \left\{ U \mid \begin{aligned} \psi_i^0(U) + a_1 \psi_i^1(U) &\geq 0 \\ \psi_i^1 &\geq 0 \end{aligned} \right\}, \quad (23)$$

$$\hat{U}_2 = \left\{ U \mid \begin{aligned} \psi_i^0(U) + a_2 \psi_i^1(U) &\geq 0 \\ \psi_i^1 &\leq 0 \end{aligned} \right\}, \quad (24)$$

и a_1, a_2 – постоянные величины.

Объединение множеств $\hat{U}_1 \cup \hat{U}_2$ тождественно множеству $\hat{U}$, которое определяется соотношениями

$$\hat{U} = \left\{ U \mid \begin{aligned} \psi_i^0(U) + a_1 \psi_i^1(U) &\geq 0 \\ \psi_i^0(U) + a_2 \psi_i^2(U) &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Доказательство.

Для доказательности тождественности $\hat{U} \equiv \hat{U}_1 \cup \hat{U}_2$, доказываем следующее утверждение: для любого U справедливо

$$U \in \hat{U} \rightarrow U \in \hat{U}_1 \cup \hat{U}_2, \quad (26)$$

$$U \in \hat{U}_1 \cup \hat{U}_2 \rightarrow U \in \hat{U}. \quad (27)$$

Так как выполнение (26) очевидно, необходимо доказать лишь соотношение (27).

Авторы полагают:

$$a_1 \leq a_2. \quad (28)$$

1. Рассматривается вариант, когда:

$$\psi_i^0(U) > 0. \quad (29)$$

А. Имеется $U \in \hat{U}$. Докажем, что $U \in \hat{U}_1$, и удовлетворяется условие (25), первое условие (25) совпадает с первым условием (23), доказываем, что второе условие (25) тоже выполняется.

Имеем a_1 не отрицательно, с учетом (28) имеет место

$$0 \leq a_1 \leq a_2 \quad (30)$$

с учетом (29):

$$\frac{-\psi_i^0(U)}{a_1} \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2}. \quad (31)$$

Из второго неравенства (23) и (31) имеем

$$a_2 \psi_i^1(U) + \psi_i^0(U) \geq 0,$$

что равносильно выполнению второго неравенства в (25).

Пусть a_1, a_2 удовлетворяют соотношениям

$$a_1 < 0 \leq a_2, \quad (32)$$

с учетом (26) имеем

$$-\frac{\psi_i^0(U)}{a_2} < 0 < -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1}. \quad (33)$$

Из неравенств (23) и (33) получаем

$$\psi_i^1(U) \geq 0 > -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2},$$

что равносильно выполнению второго неравенства в (25).

Таким образом, a_1, a_2 удовлетворяют соотношениям

$$a_1 \leq a_2 < 0, \quad (34)$$

с учетом (28) имеем

$$0 < -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1} \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2}. \quad (35)$$

Из неравенства (23) с учетом (34) имеем

$$\psi_i^1(U) \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1}, \quad (36)$$

а, если с учетом (35):

$$\psi_i^1(U) \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2},$$

то есть $a_2 \psi_i^1(U) \geq -\psi_i^0(U)$,

это соответствует выполнению условия неравенства (25).

Таким образом, во всех случаях при выполнении (29) справедливо

$$U \in \hat{U}_1 \rightarrow U \in \hat{U}. \quad (37)$$

Б. Допустим условие (28) соблюдается, но $U \in \hat{U}_2$. Докажем, что и в этом случае $U \in \hat{U}_1$, если второе условие (25) совпадает с первым условием (24), тоже выполняющимся по условию, необходимо доказать только выполнение первого неравенства из (25).

Пусть a_1 не отрицательно, то есть с учетом (30) и (29) реально соотношение (31). В связи с чем из первого неравенства (24) имеем

$$\psi_i^1(U) \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2}. \quad (38)$$

Из (38) с учетом (31) следует

$$\psi_i^1(U) \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1} \quad \text{или} \quad a_1 \psi_i^1(U) \geq -\psi_i^0(U),$$

это соответствует выполнению первого неравенства в (25).

Пусть для a_1, a_2 выполняются соотношения (32), (33). В связи с чем из второго неравенства (24) с учетом (33) имеем

$$\psi_i^1(U) \leq 0 < -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1}. \quad (39)$$

Видно, что из (38) следует с учетом $a_1 \leq 0$ выполнение первого неравенства (25):

$$\psi_i^0(U) + a_1 \psi_i^1(U) \geq 0.$$

И, наконец, имеет место (34) и (35). В связи с чем из второго неравенства (24) получаем $\psi_i^1(U) \leq 0$ или учитывая (35)

$\psi_i^1(U) < -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1}$, это при $a_1 < 0$ соответствует выполнению первого неравенства (25)

$$\psi_i^0(U) + a_1 \psi_i^1(U) > 0.$$

Таким образом, во всех случаях при выполнении (29) справедливо:

$$U \in \hat{U}_2 \rightarrow U \in \hat{U}. \quad (40)$$

Из формул (37) и (40) имеем с $\psi_i^0(U) > 0$

$$U \in \hat{U}_1 \cup \hat{U}_2 \rightarrow U \in \hat{U}. \quad (41)$$

2. Рассмотрим случай, когда

$$\psi_i^1(U) \leq 0. \quad (42)$$

А. Здесь справедливо соотношение

$$0 \leq a_1 \leq a_2. \quad (43)$$

Из первого уравнения (24) следует:

$$\psi_i^1(U) \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2} \geq 0,$$

то есть система (24) противоречива и $\hat{U}_2$ пусто.

То есть для доказательства (27) следует доказать, что

$$U \in \hat{U}_2 \rightarrow U \in \hat{U}. \quad (44)$$

Из (42), (43) имеем

$$0 < -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2} \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1}. \quad (45)$$

Допустим $U \in \hat{U}_1$. В этом случае из первого неравенства (23) имеем

$$\psi_i^1(U) \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1} \text{ или}$$

$$\text{с учетом (45) } \psi_i^1(U) \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2},$$

это соответствует выполнению второго условия (25). Видно, что первое условие (25) выполняется в силу совпадения с первым условием (23) поэтому имеем

$$U \in \hat{U}_2 \rightarrow U \in \hat{U}.$$

Б. Пусть справедливо соотношение

$$a_1 < 0 \leq a_2. \quad (46)$$

В этом случае из первого неравенства (23) следует

$$\psi_i^1(U) \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1} < 0, \quad (47)$$

что противоречит второму неравенству (23) и $\hat{U}_1$ пусто.

Из первого неравенства (24) имеем

$$\psi_i^1(U) \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2} > 0, \quad (48)$$

что противоречит второму неравенству (24) и $\hat{U}_2$ пусто. Таким образом $\hat{U}_1 \cup \hat{U}_2$ пусто.

При этом множество (25) также пусто, так как первое неравенство (24) может быть представлено в виде (47), а второе – в виде (48). Между тем система (47), (48) имеет противоречие.

В. Рассмотрим случай, когда

$$a_1 \leq a_2 < 0. \quad (49)$$

Здесь система (23) противоречива, и множество $\hat{U}_1$ пусто, что для доказательства (27) необходимо доказать

$$U \in \hat{U}_2 \rightarrow U \in \hat{U}.$$

Из (42) и (49) имеем

$$-\frac{\psi_i^0(U)}{a_2} \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1}.$$

Если $U \in \hat{U}_2$, то в этом случае из первого неравенства (24) следует

$$\psi_i^1(U) \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2} \text{ и } \psi_i^1(U) \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1},$$

то есть первое неравенство (25) выполняет

$$a_1 \psi_i^1(U) \geq -\psi_i^0(U).$$

Так как второе условие (25) совпадает с первым условием (24), которое выполняется по предположению, утверждение $U \in \hat{U}_2 \rightarrow U \in \hat{U}$ выполнено.

Из (43), (49) следует, что всегда имеет место

$$U \in \hat{U}_1 \cup \hat{U}_2 \rightarrow U \in \hat{U}. \quad (50)$$

Из (43) последует, что при значениях $\psi_i^0(U)$ все условия (25), (26) выполняются. Лемма 1 доказана.

Следствие 1.

В том случае, если при $\psi_i^0(U)$ имеет место соотношение

$$0 \leq a_1 \leq a_2, \quad (51)$$

множество $\hat{U}_1 \cup \hat{U}_2$ тождественно множеству

$$\psi_i^0(U) + a_1 \psi_i^1(U) \geq 0. \quad (52)$$

Доказательство.

Согласно леммы 1 множество $\hat{U}_1 \cup \hat{U}_2$ в этом случае тождественно множеству $\hat{U}_1$, определяемому неравенствами (24):

$$\psi_i^1(U) \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_1}, \quad (53)$$

$$\psi_i^1(U) \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{a_2}. \quad (54)$$

Так как при $\psi_i^0(U) < 0$ и выполнении (51) имеет место (43), неравенство (53) поглощается неравенством (54).

Следствие 1 леммы 1 является доказанным.

Теорема 2.

Задача надежного нелинейного программирования в состоянии мультипликативного вхождения случайной величины (18)–(19) является тождественной эквивалентной задаче (20)–(21).

Доказательство.

Учитывая, что целевые функции задач совпадают, для доказательства тождественности задач (18)–(19) и (20)–(21) авторам достаточно доказать тождественность для условий (19) и (21).

Технологические ограничения (14), очевидно, могут быть заданы в виде

$$v_i \geq -\frac{\psi_i^0(U)}{\psi_i^1(U)}, \text{ если } \psi_i^1(U) \geq 0, \quad (55)$$

$$v_i \leq -\frac{\psi_i^0(U)}{\psi_i^1(U)}, \text{ если } \psi_i^1(U) < 0. \quad (56)$$

При этом (19) может быть переформулировано в следующем виде:

$$E_i = \{v_i | v_i \geq -\psi_i^0(U) / \psi_i^1(U), \text{ если } \psi_i^1(U) \geq 0 \quad (57)$$

$$\text{и } v_i \leq -\psi_i^0(U) / \psi_i^1(U), \text{ если } \psi_i^1(U) > 0\}.$$

С использованием (57), условие (19) задачи надежного управления возможно записать в тождественном виде:

$$P_i(U) = \int_{\frac{\psi_i^0(U)}{\psi_i^1(U)}}^{\infty} \omega_i(v_i) dv_i \geq \delta_i, \\ \text{если } \psi_i^1(U) \geq 0 \quad (58)$$

и возможно так

$$P_i(U) = \int_{-\infty}^{\frac{\psi_i^0(U)}{\psi_i^1(U)}} \omega_i(v_i) dv_i \geq \delta_i, \\ \text{если } \psi_i^1(U) < 0. \quad (59)$$

где $P_i(U)$ – вероятности выполнения i -го условия.

Пусть t_i^1, t_i^2 определяются из соотношений

$$\int_{t_i^1}^{\infty} \omega_i(v_i) dv_i = \delta_i, \quad \int_{-\infty}^{t_i^2} \omega_i(v_i) dv_i = \delta_i. \quad (60)$$

В этом случае, если при $\psi_i^1(U) > 0$ выполняется неравенство

$$t_i^1 \geq -\psi_i^0(U) / \psi_i^1(U), \quad (61)$$

где t_i^1 определяется (60), имеет место:

$$\delta_i = \int_{t_i^1}^{\infty} \omega_i(v_i) dv_i \leq \int_{\frac{-\psi_i^0(U)}{\psi_i^1(U)}}^{\infty} \omega_i(v_i) dv_i = \\ = \int_{E_i} \omega_i(v_i) dv_i = P_i(U),$$

то есть при выполнении системы

$$t_i^1 \geq -\psi_i^0(U) / \psi_i^1(U), \quad (62) \\ \psi_i^1(U) \geq 0,$$

условие (19) выполнено.

Аналогично, пусть $\psi_i^1(U) < 0$ и пусть выполняется

$$t_i^2 \leq -\psi_i^0(U) / \psi_i^1(U), \quad (63)$$

где t_i^2 определяется (60).

В этом случае имеет место в соответствии с (60), (59):

то есть при выполнении системы

$$t_i^2 \leq -\psi_i^0(U) / \psi_i^1(U),$$

$\psi_i^1(U) < 0$, условия (19) также выполняются. Однако, согласно лемме 1, объединение множества $\hat{U}_1$, определяемого (62) и множества $\hat{U}_2$, определяемого (64), тождественно множеству $\hat{U}$, определяемого (25). Теорема 2 доказана.

Заключение

Созданная теория решения задач с гарантированным результатом позволяет эффективно планировать деятельность групп роботов, обеспечивая выполнение технических и технологических ограничений с вероятностью не ниже заданного уровня. Действительно, целевая функция и ограничения представляют собой случайные величины. При этом имеет место необходимость в рассмотрении и решении задач гарантированного оптимального управления группой роботов. Сформулированные теоремы доказывают тождественность задач надежного нелинейного программирования эквивалентным, решение которых упрощает реализацию программ управления. Проведенные исследования и полученные результаты тождественны результатам предыдущих исследований, связанных с процессами производства фосфатов и органических диазокрасителей.

Список литературы

1. Калинин В.Ф., Погонин В.А. Планирование работы коллектива роботов-лаборантов // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 9. С. 20–24. URL: <https://toptechnologies.ru/ru/article/view?id=39758> (дата обращения: 13.03.2025). DOI: 10.17513/snt.39758.
2. Белоглазов Д.А., Гайдук А.Р., Косенко Е.Ю. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах. М.: Физматлит, 2015. 305 с.
3. Воробьева Н.С., Жога В.В., Несмиянов И.А. Отслеживание приводами манипулятора параллельно-последовательной структуры программных перемещений рабочего органа // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2019. № 2. С. 154–165. DOI: 10.1134/S0002338819020185.
4. Калинин В.Ф., Погонин В.А. Управление мультиагентной системой роботов-лаборантов // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 5–1. С. 43–49. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40003> (дата обращения: 13.03.2025). DOI: 10.17513/snt.40003.
5. Нагоев З.В., Бжигатлов К.Ч., Пшенокова И.А., Нагоева О.В., Аталиков Б.А., Чеченова Н.А., Малышев Д.А. Автономный синтез пространственных онтологий в системе принятия решений мобильного робота на основе самоорганизации мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 6 (98). С. 68–79. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-68-79.
6. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1: Введение в теорию оценивания. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», 2017. 509 с.
7. Borisov E.G., Dobretsov R.U., Matrosov S.I. Energy Expenditure Forecasting at Path Generation of Spherical Robots within Multi-Agent System // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9 (44). P. 1–9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i44/104704.
8. Celentano L., Basin M.V. Optimal Estimator Design for LTI Systems with Bounded Noises, Disturbances, and Nonlinearities // Circuits, Systems, and Signal Processing. 2021. Vol. 40. P. 3266–3285. DOI: 10.1007/s00034-020-01635-z.
9. Nebylov A.V., Loparev A.V., Nebylov V.A. Methods for Robust Filtering Based on Numerical Characteristics of Input Processes in Solving Problems of Navigation Information Processing and Motion Control // Gyroscopy Navig. 2022. Vol. 13. P. 170–179. DOI: 10.1134/S2075108722030063.
10. Лубенцова Е.В., Лубенцов В.Ф. Метод синтеза нелинейных систем с аппроксимирующими законами управления // Вестник СКФУ. 2015. № 6 (51). С. 14–21.
11. Лубенцова Е.В., Петраков В.А., Слюсарев Г.В., Лубенцов В.Ф. Метод построения нечетких регуляторов с использованием аналитических выражений для управляющих воздействий // Фундаментальные исследования. 2015. № 11–3. С. 484–490. URL: <https://fundamentalresearch.ru/ru/article/view?id=39445> (дата обращения: 13.03.2025).
12. Шахрай Е.А., Лубенцова Е.В., Лубенцов В.Ф. Многорежимные системы управления и особенности аппаратного и программного инструментария для их реализации // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 3. С. 112–118. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38540> (дата обращения: 13.03.2025). DOI: 10.17513/snt.38540.
13. Воробьева Н.С. Методы управления манипуляторами на базе трипода при выполнении технологических операций // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2022. № 3. С. 3–14. DOI: 10.18698/0536-1044-2022-3-314. EDN: FKBDAT.
14. Трипольский П.Э., Карпов С.А. Модели и алгоритмы планирования движений интеллектуальных агентов с целью поддержания связи в мультиагентной робототехнической системе // Успехи современной радиоэлектроники. 2016. № 2. С. 160–165. EDN: VRHFSV.
15. Булатов В.В., Джаошвили Н.Г., Нуйя О.С., Рудаков Р.В., Сержантова М.В., Савельев Н.В. Разработка автоматизированного контроля пересечения траекторий движения роботов-манипуляторов // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 2. С. 24–29. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40299> (дата обращения: 13.03.2025). DOI: 10.17513/snt.40299.

УДК 004.838.3:004.021:004.032.26
DOI 10.17513/snt.40390

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ

Малецкая М.В.

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
Москва, e-mail: maletskyamargarita@gmail.com

Статья посвящена сравнению современных алгоритмов искусственных нейронных сетей, используемых для генерации 3D-моделей. Актуальность темы обусловлена растущим спросом на автоматизацию технологий создания 3D-моделей в различных областях, включающих игровую индустрию, дизайн, киноискусство, медицину. Целью работы является рассмотрение алгоритмов искусственных нейронных сетей для генерации трехмерных моделей с последующим акцентированием их преимуществ и недостатков, а также определение направлений для их возможного применения. В статье рассматриваются основные категории алгоритмов, включая воксельные подходы, методы, основанные на облаках точек, полигональные сетки, а также неявные поверхности. Особое внимание уделяется генеративно-сопоставительным сетям и нейронным полям излучения, которые демонстрируют высокое качество генерации и широкие возможности применения. Для каждого подхода описаны принципы работы, преимущества, ограничения и примеры использования. Методы исследования включают анализ научной литературы, сравнение подходов, используемых при генерации искусственными нейронными сетями, а также оценку качества генерации на основе публичных датасетов. Также рассматриваются вычислительные затраты, требования к данным и сложность реализации каждого алгоритма. Статья подчеркивает важность дальнейших исследований в этой области, включая разработку гибридных методов и улучшение существующих подходов.

Ключевые слова: алгоритмы, искусственные нейронные сети, 3D-модели, воксельные подходы, облака точек, полигональные сетки, неявные поверхности

COMPARISON OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ALGORITHMS FOR 3D MODEL GENERATION

Maletskaya M.V.

MIREA – Russian Technological University,
Moscow, e-mail: maletskyamargarita@gmail.com

The article is devoted to the comparison of modern algorithms of artificial neural networks used to generate 3D models. The relevance of the topic is due to the growing demand for automation of 3D model creation technologies in various fields, including the gaming industry, design, cinema, and medicine. The purpose of the work is to consider the algorithms of artificial neural networks for generating three-dimensional models with subsequent emphasis on their advantages and disadvantages, as well as identifying areas for their possible application. The article considers the main categories of algorithms, including voxel approaches, methods based on point clouds, polygonal meshes, and implicit surfaces. Particular attention is paid to generative adversarial networks and neural radiation fields, which demonstrate high generation quality and wide application possibilities. For each approach, the operating principles, advantages, limitations, and examples of use are described. Research methods include an analysis of scientific literature, a comparison of approaches used in generating artificial neural networks, and an assessment of the quality of generation based on public datasets. The computational cost, data requirements, and implementation complexity of each algorithm are also discussed. The paper highlights the importance of further research in this area, including the development of hybrid methods and improvements to existing approaches.

Keywords: algorithms, Artificial Neural Networks, 3D model, voxel-based, point cloud, mesh, implicit surface

Введение

В последнее десятилетие интерес к искусственным нейронным сетям значительно возрос, а искусственный интеллект, или AI, привлекает внимание огромной аудитории из пользователей сети Интернет и начинает повсеместно использоваться. Обозначенный интерес обусловлен выдающимися достижениями в сфере машинного обучения, реализуемых в самых различных отраслях, включая науку, образование и даже развлечения [1]. В то же время возрастает и желание к созданию качественных и рабочих 3D-моделей, а их генерация оказывается

одной из ключевых задач не только в компьютерной графике, но также в машинном обучении.

Развитие технологий затронуло многие области, особенно выделяются разработки в виртуальной реальности, инновации в игровой индустрии и автоматизированном проектировании, вследствие этого спрос на эффективные методы создания трехмерных объектов существенно возрос. Однако традиционные подходы хоть и требуют временных ресурсов и качественно обученного персонала, фактически остаются востребованными и популярными

[2]. В действительности же традиционные подходы в создании 3D-моделей становятся менее применимы в нынешних реалиях, когда необходимы скорость и автоматизация процессов.

Искусственные нейронные сети представляют собой революционные решения, позволяя автоматизировать процесс генерации 3D-моделей с высокой точностью и скоростью. Возможность осуществлять обучение на больших объемах данных, а помимо этого создавать сложные и детализированные объекты, которые ранее требовали выполнения работы вручную. Несмотря на многообразие подходов и алгоритмов в нейронных сетях, например воксельные, генеративно-сопоставительные (GAN), нейронные поля излучения (NeRF), подбор оптимального метода становится многоаспектной задачей [3–5].

Данная работа позволила рассмотреть и сравнить основные алгоритмы нейронных сетей, используемых для создания 3D-моделей, изучить их принципы работы, преимущества, недостатки и области применения, какие методы лучше всего подходят для решения конкретных задач. Исследование в равной мере затронуло вопросы, связанные с вычислительной сложностью, качеством генерации и перспективами развития этой развивающейся области.

Цель исследования – произвести комплексный анализ различных методов генерации 3D-моделей, определить их превалирования и проблемы, наряду с этим выделить наиболее уместные подходы для определенных задач, предоставив обзор современных технологий. На основе данного анализа специалисты смогут совершить осознанный выбор технологий для работы с 3D-моделями, что улучшит качество дальнейших разработок и их применения в данной области.

Материалы и методы исследования

Подходы к реализации трехмерных моделей подразделяются на две основные группы по методу создания – это традиционные и современные, базирующиеся на искусственных нейронных сетях.

Традиционные методы [5] включают три направления: полигональное моделирование, неоднородные рациональные В-сплайны (далее NURBS) и скульптинг – и могут работать как совместно, так и каждый сам по себе. Перечисленные подходы всегда нуждаются в большом количестве ресурсов, таких как временные затраты на формирование моделей, качественно подготовленный персонал, соблюдающий все этапы трехмерного моделирова-

ния, а также соответствующее техническое оснащение.

Полигональное моделирование – самый давний способ создания моделей, появился в момент, когда точки в пространстве необходимо было определять при помощи осей X, Y и Z. В полигональном моделировании модель состоит из треугольных или четырехугольных полигонов, выполняющих формирование поверхности объекта. Современные 3D-редакторы: Blender и Maya – поддерживают такой подход, но для создания достаточно гладких поверхностей важно качественное техническое оснащение, с помощью которого ведется разработка. Данный вариант моделирования широко применяется в развлекательном сегменте, а также архитектурной визуализации.

По сравнению с вышеупомянутым аналогом реализация объектов при помощи NURBS поверхностей, которые применяют сложные математические вычисления для передачи кривых и наклонных, создают более точные и гладкие модели. Rhinoceros и CATIA – популярные приложения для создания объектов в контексте данного моделирования. NURBS поверхности являются важным САПР инструментом, зачастую применяются при изготовлении деталей ЧМУ и конструировании машин.

Последний метод, скульптинг, – вариант трехмерного моделирования, при котором происходит реализация форм и очертаний объектов с использованием виртуального материала схожего с глиной, выполняя растяжение, сужение и другие манипуляции. Для работы с данной технологией необходимы хорошие навыки в моделировании, а также художественном искусстве, что делает такой подход самым сложным из описанных. Применение возможно в кино, играх, интенсивно используется в создании персонажей, где важно качество прорисовки и реалистичность.

Современные подходы, при которых происходит генерация трехмерных моделей с использованием искусственных нейронных сетей, требуют минимальных навыков для создания объекта. Все формирование происходит на программном уровне, важно подобрать правильный алгоритм генерации:

1. Воксельный подход (voxel-based) основан на проверке: является ли воксель частью объекта или нет? Нейронная сеть при данном подходе трансформирует облака точек в воксельную сетку, а после обрабатывает, используя 3D-свертки. Данный принцип поддерживается в одной из известных в области глубокого обучения ге-

неративно-состязательной сети. Понятное представление данных, интуитивная простота восприятия, доступная визуализация являются преимуществами представленного подхода. Однако исключительность данного метода теряется из-за возможного возникновения «блочности», по причине дискретности вокселей. Таким образом, снижается число возможных применений подхода до простых трехмерных объектов, например мебель или недетализированные здания.

2. Облака точек (point cloud-based) в трехмерной системе координат X, Y, Z проявляются в качестве набора вершин, составляющих поверхность моделируемого объекта. На основе обучения нейронная сеть учится генерировать подобные точки для объединения схожих признаков. Популярная на данный момент PointNet++ [6] имеет модуль абстракции набора, который ведет обработку и извлечение набора точек для формирования последующего с сокращенным количеством элементов. Значимыми достоинствами облака точек являются гибкость и эргономичность в сравнении с воксельным подходом, а основной недостаток – отсутствие явной топологии, что создает необходимость в дополнительной обработке, то есть неизбежно приводит к трате дополнительных ресурсов. Несмотря на вышеупомянутый недостаток данной технологии, существует большая вариативность в сферах применения.

3. Полигональные сетки в 3D моделировании – это основа объекта, состоящая из вершин, ребер и граней, которые составляют каркас для формирования сущности. В свою очередь, при генерации необходима оптимизация объекта с использованием, к примеру, Mesh R-CNN [7] – нейросетевая архитектура, которая после обучения позволяет генерировать и улучшать качество полигональной сетки. К преимуществам подхода, реализованного при помощи полигональной сетки, можно отнести высокий уровень детализации, применимость для генерации сложных объектов и распространенность во многих 3D редакторах, но следует обращать внимание на недостатки в виде затрудненного обучения, в связи с нерегулярной структурой данных.

4. Неявные поверхности (implicit surface) в евклидовом пространстве описы-

вают форму объекта, используя математические формулы, например SDF (Signed Distance Functions) [8]. Искусственная нейронная сеть на основе DeepSDF имеет возможность предугадать расположение и расстояние до поверхности объекта, а следовательно, и реализовать в достаточной мере четкие и гладкие модели. Таким образом, представляются следующие преимущества в использовании неявных поверхностей: высокая точность, гибкость, детальность. Тем не менее недостатки заключаются в проблемах визуализации и высокой вычислительной сложности обучения и генерации. Применение неявных поверхностей существует в фотореалистической графике, игровой и киноиндустриях.

Результаты исследования и их обсуждение

Генерация трехмерных моделей в контексте использования нейронных сетей раскрывается как многоаспектная задача, в ходе выполнения которой требуется учесть множество факторов, таких как вычислительная сложность, качество генерации модели, обработка тестовых данных, область, в которой будет работать ИНС, и т.д.

1. Качество генерации трехмерной модели рассчитывается в зависимости от выбранного подхода по двум параметрам: точность и детализация.

Применяя воксельный подход, возможно обеспечить умеренную детализацию, точность при этом ограничивается разрешением сетки (обычно 64^3 или 128^3). Качество соответственно оценивается по функции потерь MSE, которая минимизирует перепад между истинным значением вокселей и предсказанным по формуле

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left\| \hat{y}^{(i)} - y^{(i)} \right\|^2, \quad (1)$$

где $y(i)$ – истинный ожидаемый результат вокселей, а $\hat{y}(i)$ – предположение модели.

Облака точек в сравнении с вокселями обеспечивают высокое качество детализации, но ограничиваются в отсутствии явной топологии. Для оценки качества используется метрика Chamfer Distance, которая измеряет среднее расстояние между предсказанным и истинным облаками точек [9, 10]:

$$CD(S^1, S^2) = \frac{1}{|S_1|} \sum_{x \in S_1} \min_{y \in S_2} \|x - y\|_2^2 + \frac{1}{|S_2|} \sum_{y \in S_2} \min_{x \in S_1} \|x - y\|_2^2, \quad (2)$$

где S^1 является предсказанным облаком точек, а S^2 – истинным.

Полигональные сетки отличаются высокой точностью и детализацией, но качество генерации зависит от структуры сетки и методов оптимизации. Оценка подхода формируется по метрике степени пересечения между двумя ограничивающими рамками для 3D [11, 12]:

$$\text{IoU} = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}, \quad (3)$$

где A и B – предсказанная и истинная сетки соответственно.

Качество неявных поверхностей, например, в DeepSDF рассчитывается по функции потерь абсолютной ошибки L_{SDF} . Минимизируя ошибку предсказания, она повышает точность и гладкость объекта. Функция потерь соотносит, насколько предсказанные значения SDF отличаются от истинных, используя абсолютную ошибку, которая вычисляется как разница между предсказанным и истинным значением SDF для определенной точки [13]:

$$L_{SDF} = \sum_i |f(x_i) - s_i|, \quad (4)$$

где $|f(x_i) - s_i|$ – абсолютная ошибка между предсказанным и истинным значением.

2. Вычислительная сложность алгоритмов определяется архитектурой и типом данных.

К алгоритмам с более низкой вычислительной сложностью в $O(n^3)$, где n – разрешение сетки, относится воксельный подход. В то же время полигональные сетки хоть и имеют вычислительную сложность $O(n)$, где n – количество полигонов, но относятся к низко эффективным алгоритмам, так как количество полигонов может сильно разниться от объекта к объекту.

Облака точек и неявные поверхности из представленных вариантов рассматриваются как оптимальные в вычислительной сложности с $O(n)$, где n – количество точек и $O(1)$ для параметрической модели соответственно.

3. Спецификация данных для каждого из подходов имеет различия.

Воксельные подходы нуждаются в массивном объеме обучающих данных ввиду необходимости точного предсказания определенного вокселя. Облака точек менее требовательны по сравнению с предыдущим аналогом, но испытывают потребность в четкой аннотации точек. Полигональные сетки достаточно детализированы, поэтому предполагают внушительный объем данных для обучения. Неявные поверхности пригодны для обучения на меньшем объеме данных благодаря использованию непрерывных функций.

Дополнительно проведем сравнительный анализ по вышеперечисленным параметрам в табл. 1.

Рассмотрим примеры использования нейросетей, поддерживающих различные подходы к генерации трехмерных моделей, обученных на различных датасетах.

1. Подходы на основе вокселей применяются для генерирования простых объектов: стульев, диванов, скамеек, домашней утвари и т.д. – данный перечень включает модели, которые содержат небольшое количество полигонов и ограничены в разрешении. Одним из успешных на данный момент репозиторий является крупномасштабный ShapeNet (Shapegan) для трехмерных моделей САПР, который по информации на официальном сайте ShapeNet содержит около 300 млн моделей, организованных с использованием гиперо-гипонимических отношений WordNet.

Таблица 1

Сравнение алгоритмов по параметрам

Параметр	Воксельный подход	Облака точек	Полигональная сетка	Неявные поверхности
Качество детализации	Умеренная	Высокая детализация	Высокая	Высокая
Вычислительная сложность	$O(n^3)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(1)$
Преимущества	Простое представление данных, понятность, легкая визуализация	Функциональность, гибкость	Детализированность, гладкость, поддержка многими 3D-редакторами	Высокая точность, гладкость
Недостатки	Блочность, большая нагрузка на память	Отсутствует топология	Трудности в обучении	Затрудненная визуализация

Источник: составлено автором на основе [14–16].

2. Облака точек ориентированы на проекты в областях компьютерной графики, компьютерного зрения, робототехники для предоставления качественной и полной коллекции трехмерных САПР моделей для объектов. На датасете ModelNet (PointNet++) при помощи сканирования создаются точные модели, например, самолетов, бытовой техники, но значительный недостаток проявляется в отсутствии явной топологии, то есть объекты не имеют четкой формы и содержат искажения, что порождает необходимость в дополнительной постобработке.

3. Полигональные сетки имеют применение в игровой и киноиндустриях, виртуальной реальности (VR), так как особенно хороши при реализации высокодетализированных объектов. Архитектурная модель Mesh R-CNN, включающая стандартные методы для распознавания форм на 2D изображениях, обучена на датасете Pix3D.

4. Метод неявных поверхностей используется в DeepSDF, представляя поверхность объекта непрерывной объемной поверхностью, обеспечивая компромисс между эффективностью, точностью и возможностью сжатия. Благодаря DeepSDF

появляется больше возможностей при создании трехмерных моделей, позволяя работать в областях компьютерной графики, 3D-машинного зрения, робототехники.

Продemonстрируем работу данных датасетов в табл. 2, представив сравнение по параметрам и проиллюстрируем работу каждой искусственной нейронной сети на рисунке.

Успехи в области нейронных сетей порождают рост исследований и разработок в данной сфере, которые включают и возможные улучшения как существующих алгоритмов, так и разработку новых.

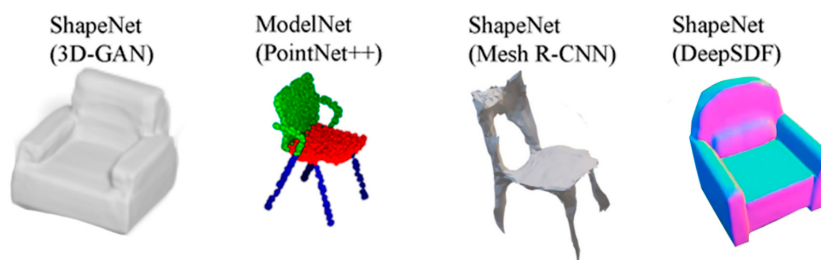
Возможными улучшениями существующих алгоритмов генерации трехмерных моделей могут выступать оптимизация архитектур, а также методов обработки данных для обучения нейронных сетей. Например, в воксельных подходах возможно использование разреженных свертков, которые позволят уменьшить вычислительную сложность и увеличить качество генерации. В алгоритмах, задействующих полигональные сетки, уже начинают реализовываться технологии mesh denoising, при помощи которых снижается вероятность возникновения шумов и неточностей.

Таблица 2

Сравнение датасетов по параметрам

Параметры	ShapeNet (Shapegan)	ModelNet (PointNet++)	ShapeNet (Mesh R-CNN)	ShapeNet (DeepSDF)
Формат данных	Воксели	Облака точек	Полигональные сетки	Неявные поверхности
Объем датасета	~300 000 моделей (135 классов)	~12 000 моделей (40 классов)	~50 000 моделей (55 классов)	~50 000 моделей (55 классов)
Качество разрешения данных	Низкое (64x64x64 или 128x128x128)	Высокое (точки)	Высокое (вершины и грани)	Высокое (непрерывные функции)
Качество генерации	Умеренное	Высокое, но без топологии	Высокое, гладкие поверхности	Наивысшее, гладкие поверхности
Вычислительная сложность	Высокая $O(n^3)$	Средняя $O(n)$	Высокая (зависит от сетки)	Высокая (вычисления для каждой точки)
Скорость работы	Низкая	Средняя	Средняя	Низкая
Применение	Простые объекты (мебель)	Лазерное сканирование	Игры, фильмы, VR	Фотореалистичный рендер, медицина

Источник: составлено автором на основе [14–16].



Примеры 3D-объектов, реализованных с использованием Shapegan, PointNet++, Mesh R-CNN и DeepSDF

Источник: составлено автором на основе [7, 15, 16]

Также дополнительно для облаков точек возможно использование алгоритмов poisson surface reconstruction, которые позволят генерировать гладкие полигональные сетки.

Исследование алгоритмов позволило выделить как положительные, так и негативные стороны для генерации моделей, и так как алгоритмы и подходы имеют различные недостатки, то возможна реализация гибридных подходов, которые снизят или нейтрализуют изъяны, а в дополнение и усилят лучшие стороны. Например, воксельные подходы и методы на основе неявных поверхностей в совокупности могут значительно усилить качество генерации.

Заключение

В статье рассмотрены ключевые подходы к генерации трехмерных моделей: воксельные, облака точек, полигональные сетки и неявные поверхности. В частности, каждый подход имеет как превалирования, так и слабые стороны, решения по подбору подходящего алгоритма зависят от задачи: для простых объектов с низким качеством детализации могут выступать воксельные подходы, в то время как задачи по лазерному сканированию лучше реализовать при помощи облаков точек. Для генерации высокодетализированных моделей в играх, фильмах и виртуальной реальности рекомендуется использовать полигональные сетки. Для задач, требующих высокой точности и гладкости, таких как фотореалистичная графика или медицинская визуализация, следует применять неявные поверхности.

Исследования в данной области в будущем необходимо нацелить на оптимизацию существующих алгоритмов для снижения вычислительных затрат и улучшения качества генерации, разработку новых улучшенных подходов, таких как гибридные методы, которые объединяют преимущества различных подходов, а также использование передовых технологий, включая квантовые вычисления, для ускорения вычислений и повышения эффективности.

Данные направления имеют значительный потенциал для улучшения качества, скорости и эффективности к генерации трехмерных моделей, что открывает новые возможности для их применения в различных областях, таких как игровая индустрия, графический дизайн, медицина и инженерное проектирование. Последующие исследования в этих направлениях приведут к созданию более совершенных и универсальных инструментов для работы с 3D данными.

Список литературы

1. Yeh S.-C., Yang K.-K., Cheng L.-C. A WebGL-based 3D furniture modeling system via light-field descriptor and interac-

tive force-directed visualization // *Multimedia Tools and Applications*. March 2025. DOI: 10.1007/s11042-025-20746-w.

2. Münster S., Apollonio F.I., Bluemel I., Fallavollita F., Foschi R., Grellert M., Ioannides M., Jahn P.H., Kurdiovsky R., Kuroczyński P., Lutteroth J.-E., Messemer H., Schelbert G. 3D Modeling // *Handbook of Digital 3D Reconstruction of Historical Architecture*. April 2024. Vol. 28. P. 107–128. DOI: 10.1007/978-3-031-43363-4_6.

3. Shi S., Jiang L., Deng J., Wang Z., Guo C., Shi J., Wang X., Li H. PV-RCNN++: Point-Voxel Feature Set Abstraction With Local Vector Representation for 3D Object Detection // *International Journal of Computer Vision*. November 2022. Vol. 131. P. 531–551. DOI: 10.1007/s11263-022-01710-9.

4. Kleineberg M., Fey M., Weichert F. Adversarial Generation of Continuous Implicit Shape Representations // *arXiv preprint arXiv*. March 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2002.00349.

5. Yang G.-W., Liu Z.-N., Li D.-Y., Peng H.-Y. JNeRF: An efficient heterogeneous NeRF model zoo based on Jitter // *Computational Visual Media*. June 2023. Vol. 9, Is. 2. P. 401–404. DOI: 10.1007/s41095-022-0327-z.

6. Qi C. R., Yi L., Su H., Guibas L.J. PointNet++: Deep Hierarchical Feature Learning on Point Sets in a Metric Space // *NIPS'17: Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems*. December 2017. Vol. 17. P. 5105–5114. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/1706.02413> (дата обращения: 17.02.2025). DOI: 10.48550/arXiv.1706.02413.

7. Gkioxari G., Malik J., Johnson J. Mesh R-CNN // *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*. October – November 2019. P. 9784–9794. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00988.

8. Park J.J., Florence P., Straub J., Newcombe R., Lovegrove S. DeepSDF: Learning Continuous Signed Distance Functions for Shape Representation // *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. June 2019. P. 165–174. DOI: 10.1109/CVPR.2019.00025.

9. Cho T.H. Improved Chamfer Matching Using Interpolated Chamfer Distance and Subpixel Search // In: Ersbøll, B.K., Pedersen, K.S. (eds) *Image Analysis*. SCIA 2007. Lecture Notes in Computer Science. 2007. V. 4522. DOI: 10.1007/978-3-540-73040-8_68.

10. Lin F., Yue Y., Zhang Z., Hou S., Yamada K.D., Kotalachalama V.B., Saligrama V. InfoCD: A Contrastive Chamfer Distance Loss for Point Cloud Completion // *Advances in Neural Information Processing Systems*. December 2023. Vol. 36. P. 76960–76973. URL: <https://tohoku.elsevierpure.com/en/publications/infocd-a-contrastive-chamfer-distance-loss-for-point-cloud-comple> (дата обращения: 27.02.2025).

11. Mescheder L., Oechsle M., Niemeyer M., Nowozin S., Geiger A. Occupancy Networks: Learning 3D Reconstruction in Feature Space // *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. June 2019. DOI: 10.1109/CVPR.2019.00459.

12. Zhang X., Fang Z., Wen Y., Li Z., Qiao Y. Range loss for deep face recognition with long-tailed training data // *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. October 2017. P. 5409–5418. DOI: 10.1109/ICCV.2017.578.

13. Raymond C. Meta-Learning Loss Functions for Deep Neural Networks // *Open Access Te Herenga Waka-Victoria University of Wellington*. Thesis. February 2025. DOI: 10.26686/wgtn.28448894.

14. Stutz D., Geiger A. Learning 3D Shape Completion Under Weak Supervision // *International Journal of Computer Vision*. October 2018. Vol. 128. P. 1162–1181. DOI: 10.1007/s11263-018-1126-y.

15. Li C., Xiao M., Li Z., Chen F., Wang D. Single-view 3D reconstruction via dual attention // *PeerJ Computer Science*. October 2024. Vol. 10. P. e2403. DOI: 10.7717/peerj-cs.2403.

16. Fang Z., Li X., Li X., Zhao S., Liu M. ModelNet-O: A Large-Scale Synthetic Dataset for Occlusion-Aware Point Cloud Classification // *arXiv preprint arXiv*. January 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2401.08210.

УДК 004.9:69.003.13
DOI 10.17513/snt.40391

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ: МЕТОДОЛОГИЯ И ИНСТРУМЕНТЫ ВНЕДРЕНИЯ

Масягина Н.И., Зорина О.А., Харламов Д.А.

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технический университет имени В.Г. Шухова»,
Губкинский филиал, Губкин, e-mail: natali_masyagina@mail.ru

В статье изучаются теоретические и практические аспекты цифровизации процессов управления в строительных компаниях. Основное внимание уделяется разработке методологии и инструментов внедрения цифровых технологий в систему управления строительными проектами. Цель исследования – создание цифровой системы управления в строительстве для стабильности проектов и оптимизации процессов с использованием проверенных методов анализа и оценки проблем. В работе представлены результаты разработки концептуальных основ цифровизации управления строительными проектами, включая усовершенствованную методику классификации рисков и оригинальную модель комплексной оценки. Особое внимание уделяется созданию информационной системы на основе пространственных данных, необходимой на всех этапах строительства. Практическая значимость исследования заключается в разработке комплекса организационно-экономических механизмов внедрения цифровых технологий, адаптированных к специфике строительных проектов. Предложенные инструменты позволяют оптимизировать взаимодействие между участниками процесса, обеспечить регулярный мониторинг и координацию работ. Эффективность предложенной модели цифровизации управления показана на примере строительных проектов Белгородской области, где особое внимание уделяется безопасности производства работ и качеству взаимодействия между участниками строительного процесса. Результаты исследования могут быть использованы при разработке стратегий цифровизации строительных компаний и совершенствовании систем управления строительными проектами.

Ключевые слова: управление в организационных системах, системный подход, определение проблемных аспектов, принятие решений, пространственные данные, системы цифровизации

DIGITALIZATION OF MANAGEMENT PROCESSES IN CONSTRUCTION ORGANIZATIONS: METHODOLOGY AND IMPLEMENTATION TOOLS

Masyagina N.I., Zorina O.A., Kharlamov D.A.

Gubkin branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Gubkin, e-mail: natali_masyagina@mail.ru

The article examines the theoretical and practical aspects of digitalization of management processes in construction companies. The main focus is on the development of methodology and tools for the implementation of digital technologies in the construction project management system. The purpose of the research is to create a digital management system in construction for project stability and process optimization using proven methods of problem analysis and assessment. The paper presents the results of the development of conceptual foundations for the digitalization of construction project management, including an improved risk classification methodology and an original integrated assessment model. Special attention is paid to the creation of an information system based on spatial data, which is necessary at all stages of construction. The practical significance of the research lies in the development of a set of organizational and economic mechanisms for the introduction of digital technologies adapted to the specifics of construction projects. The proposed tools make it possible to optimize the interaction between the participants in the process, ensure regular monitoring and coordination of work. The effectiveness of the proposed management digitalization model is shown by the example of construction projects in the Belgorod region, where special attention is paid to the safety of work and the quality of interaction between participants in the construction process. The research results can be used to develop digitalization strategies for construction companies and improve construction project management systems.

Keywords: management in organizational systems, a systematic approach, identification of problematic aspects, decision-making, spatial data, digitalization systems

Введение

Цифровизация управления строительными организациями предполагает системный подход и анализ проблемных аспектов, которые определяют принятие управленческих решений. Традиционно строительная отрасль характеризуется высокой степенью неопределенности, связанной со спецификой

среды на всех уровнях. Однако это приводит к превышению бюджетов и нарушению сроков реализации проектов, что негативно влияет на всех участников процесса [1].

«Данная отрасль традиционно характеризуется повышенным уровнем неопределенности, обусловленным спецификой окружающей среды на всех уровнях: от ло-

кального до глобального» [2]. К сожалению, строительный сектор не отличается высокой эффективностью в сфере оптимизации управления системами, о чем свидетельствует регулярное превышение бюджетов и нарушение сроков реализации проектов. Это негативно отражается на всех участниках строительного процесса: от заказчиков до общественности.

В связи с этим возникает острая необходимость в совершенствовании подходов к анализу и минимизации проблемных аспектов в строительстве. Для улучшения управления следует обратить внимание на следующие аспекты:

- приоритетность различных видов управления;
- применяемые методики управления;
- текущее состояние оптимизации управления в компаниях;
- основные препятствия для эффективного управления с точки зрения заинтересованных сторон [3].

Исследования показывают, что финансовые и экономические проблемные аспекты, а также вопросы качества имеют первостепенное значение для строительных организаций [4]. Отраслевые объекты чаще всего стремятся к их минимизации. Учитывая, что субъективная оценка играет существенную роль в их управлении, особое значение приобретают: существующие преграды на пути его внедрения, ожидаемые преимущества от применения. Хотя теоретические аспекты управления в строительстве проработаны достаточно глубоко, практический опыт требует дополнительных исследований особенностей оптимизации управления в контексте специфики Белгородской области.

Цифровизация процессов управления в строительных организациях основана на методологии системного подхода и инструментах внедрения, направленных на определение проблемных аспектов, принятие решений и использование пространственных данных.

Строительство традиционно характеризуется высоким уровнем неопределенности как на уровне отдельных проектов, так и в целом по направлению [5]. Проблемные аспекты связаны с потенциальными событиями, способными повлиять на достижение поставленных целей, и их последствия могут быть как позитивными, так и негативными. Управление направлено на оптимизацию проектного управления, минимизацию потерь и максимальное использование возможностей. В научной литературе широко освещены различные аспекты управления [6]. В контексте строительных проектов

типа «проектирование – строительство – передача» необходимо учитывать влияние операционной деятельности предприятия и организационной структуры на процессы управления. Анализ показал, что разногласия между заинтересованными сторонами остаются значимым аспектом, требующим особого внимания при планировании и реализации проектов.

Цель исследования – решить задачу разработки и обоснования комплексной методологии системного управления в строительной отрасли, которая обеспечит устойчивость проектной деятельности и оптимизирует процессы минимизации потенциальных потерь с помощью верифицированных методов анализа.

Задачи исследования:

1. Изучить существующие подходы к управлению в организационных системах и определить проблемные аспекты цифровизации строительной отрасли.
2. Разработать методологию системного управления, основанную на принципах устойчивого развития и минимизации проблемных аспектов цифровизации.
3. Создать инструментарий для анализа и оценки проблемных аспектов цифровизации процессов управления в строительных организациях.
4. Провести экспериментальную проверку разработанной методологии и инструментария на примере реальных строительных проектов.
5. Оценить эффективность предложенной методологии и инструментов внедрения систем цифровизации в управлении строительными организациями.

Материалы и методы исследования

В сфере управления строительными проектами существует разнообразие подходов и инструментов оценки проблем. В данном исследовании основное внимание уделяется выявлению ключевых рисков факторов и анализу применяемых методов в Белгородской области. Экспертный опросный метод служит методологической основой исследования.

Разработанная модель цифровизации представляет собой универсальный инструмент для анализа проектов различной сложности и может быть применена в других территориальных образованиях со схожими характеристиками строительной отрасли [7]. В рамках исследования был использован системный подход для определения проблемных аспектов управления в организационных системах строительной отрасли Белгородской области. Для этого был разработан опросный инструментарий, основан-

ный на анализе существующих исследований и консультациях с экспертами.

Анкетирование стало основным методом сбора эмпирических данных, позволяющим принимать обоснованные решения с учетом пространственных данных и возможностей цифровизации систем управления [8; 9].

Структура анкеты включает три основных раздела:

Первый раздел исследования включает анализ проблемных аспектов и их оценку участниками строительного процесса по пятибалльной шкале.

Второй раздел посвящен распределению ответственности за проблемные аспекты между участниками строительного процесса. Респондентам предлагается выбрать один из трех вариантов ответственности, включая консультационные услуги как часть ответственности заказчика:

- ответственность заказчика;
- ответственность подрядчика;
- совместная ответственность.

Третий раздел исследует методы управления проблемными аспектами, разделенные на превентивные и корректирующие меры. Эффективность каждого метода оценивается респондентами по шкале от 1 до 5, где 1 – минимальная эффективность, а 5 – максимальная.

Цифровизация процессов управления в строительных компаниях: методология и инструменты внедрения.

Системный подход используется для определения проблемных аспектов управления в организационных системах строительной отрасли. Простота и понятность формулировок анкеты обеспечивают корректное восприятие всеми категориями респондентов. Перед началом исследования инструмент был протестирован экспертами для гарантии правильного восприятия всеми категориями респондентов.

В ходе исследования применялась методика неслучайной выборки, обусловленная ограниченными ресурсами, сложностью идентификации участников конкретных строительных проектов и необходимостью выявления существующих проблем в отрасли.

Для сбора данных был выбран метод удобной выборки, основанный на доступности респондентов. В исследовании участвовали строительные объекты Белгородской области. Всего было разослано 150 анкет, из которых 86 были возвращены заполненными, что составило 57 %.

К участию в опросе были привлечены специалисты с инженерной подготовкой и экспертными знаниями в области управ-

ления строительными проектами. Такой подход обеспечил получение релевантных и качественных данных для дальнейшего анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

В строительной отрасли существует множество различных типов проблемных аспектов, каждый из которых может оказывать существенное влияние на сроки реализации проекта. Для данного исследования были отобраны 37 наиболее релевантных рисков, которые были включены в опросный инструмент после тщательного анализа существующих исследований и консультаций с опытными специалистами строительной отрасли Белгородской области.

Оценка значимости каждого аспекта проводилась с использованием пятибалльной шкалы Лайкерта, где 1 означал минимальную значимость, а 5 – максимальную. Респонденты выражали свое профессиональное восприятие важности каждого элемента для строительных проектов региона.

Обработка полученных данных включала несколько этапов [10]:

- суммирование баллов по каждому типу риска;
- расчет совокупного балла;
- вычисление процентного показателя значимости для каждого элемента.

Такой подход позволил получить количественную оценку значимости различных рисков для строительной отрасли Белгородской области:

$$RI_{\text{оценка значимости}} = \frac{\sum W_i}{A_i} \times 100 \%$$

Для расчета значимости рисков использовалась следующая система показателей:

Риск-индекс (РИ) – итоговый показатель значимости риска,

W_i – индивидуальная оценка, присвоенная i -м респондентом,

A_i – минимальный оценочный балл («0») и максимальный оценочный балл («5») по шкале оценки,

N – общее количество респондентов, принявших участие в исследовании (86 чел.).

Данная система позволила получить взвешенную оценку значимости рисков с учетом мнений всех участников опроса. Для оценки распределения ответственности была использована интуитивно понятная процентная система оценивания, широко применяемая в повседневной практике. Риски были ранжированы по убыванию их значимости.

Анализ полученных данных показал следующее распределение ответственности:

- ответственность заказчика: 8 элементов (более 50 % ответственности);
- ответственность подрядчика: 16 элементов (более 50 % ответственности);
- совместная ответственность: 8 элементов;
- неопределенная ответственность: 5 элементов (ни одна категория не набрала более 50 %).

При определении принадлежности риска к конкретной категории учитывался принцип мажоритарности – ответственность присваивалась той категории, доля которой составляла 50 % и более от общего числа оценок.

Управление организационными системами в строительной отрасли Белгородской

области представляет собой комплексный процесс минимизации, контроля и совместного использования рисков, а не их простой передачи. В современной практике выделяют [11] несколько ключевых стратегий:

- предотвращение рисков;
- принятие рисков;
- снижение последствий;
- комбинированные подходы.

В рамках исследования респондентам предлагалось оценить эффективность различных методов управления по пятибалльной шкале Лайкерта, где 1 означал минимальную результативность, а 5 – максимальную. Опросный инструментальный включал по шесть наиболее распространенных методов для каждой из двух основных категорий:

- превентивные меры;
- корректирующие действия.

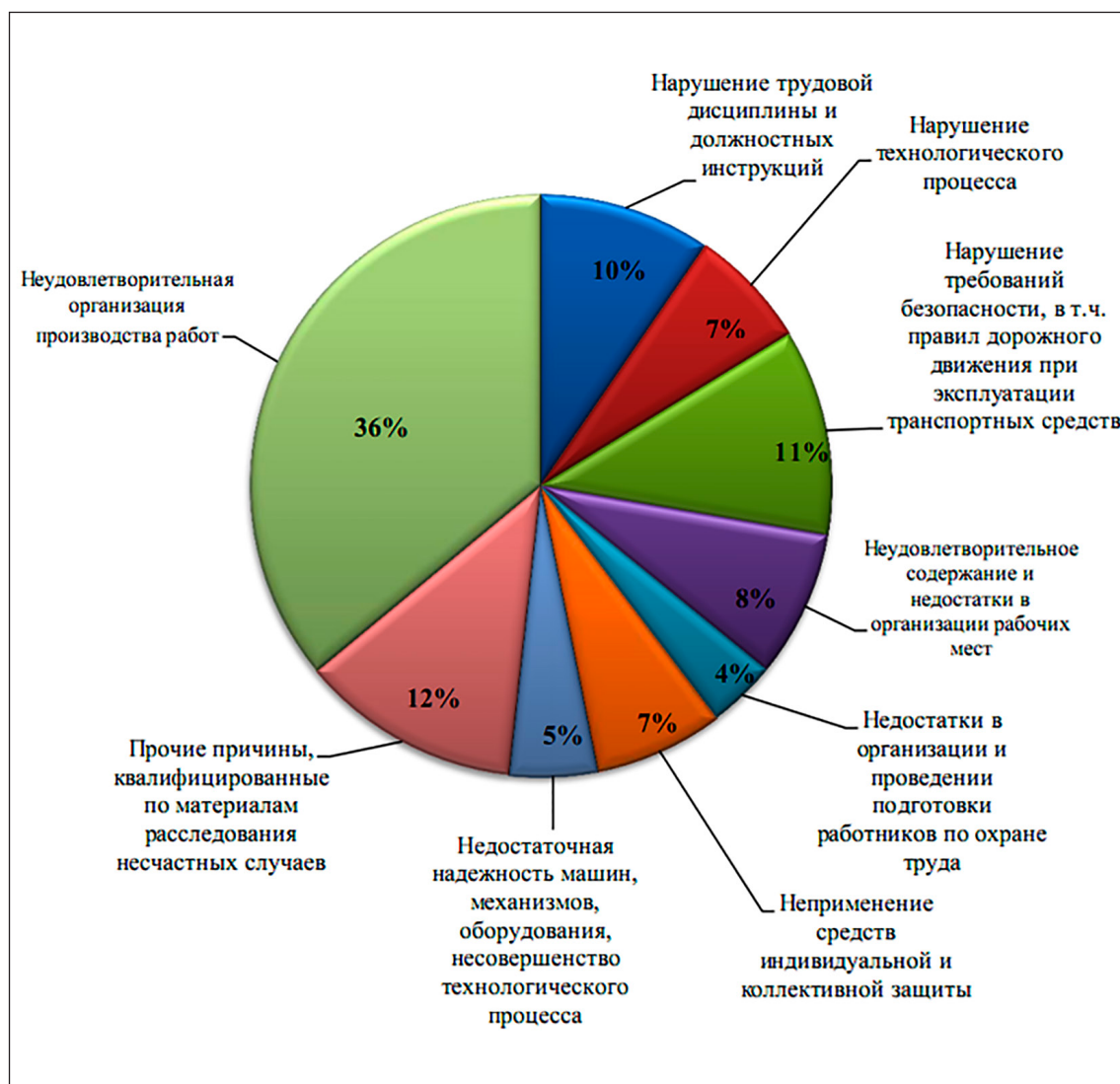


Рис. 1. Ответственность сторон [15]

Профилактический подход считается оптимальным способом управления в строительных проектах региона. Его реализация наиболее эффективна на этапе планирования, до начала реализации проекта, что позволяет внести необходимые корректировки в проектную документацию с учетом потенциальных рисков [12].

Превентивные методы управления применяются на стадии подготовки проекта и включают комплекс мер:

- по выявлению возможных рисков;
- по оценке их потенциального влияния;
- по разработке мероприятий по минимизации негативных последствий.

В ходе исследования было проведено анкетирование специалистов строительной отрасли Белгородской области для оценки эффективности различных превентивных методов управления (рис. 1). Полученные данные были ранжированы по степени результативности их применения в региональных проектах.

Несмотря на применение превентивных мер, в процессе реализации строительных проектов Белгородской области могут возникать новые проблемные аспекты, требующие оперативного реагирования. Корректирующие методы управления направлены на минимизацию негативных последствий уже возникших аспектов и их возможное устранение [13].

Анализ практики строительства показывает, что даже при тщательном планировании не удастся избежать отклонений от графика работ [14]. По данным исследований, только треть строительных проектов завершается точно в установленные сроки, при этом типичное превышение составляет от 10 до 30 % от планируемого времени.

В ходе исследования особое внимание авторами уделялось оценке эффективности корректирующих методов управления (рис. 2). Респондентам предлагалось оценить значимость каждого метода на основе собственного опыта работы в строительной отрасли региона. Важно отметить, что успешное управление организационными системами требует комплексного подхода, сочетающего как превентивные, так и корректирующие меры, адаптированные под специфику строительного рынка Белгородской области.

В ходе исследования строительных проектов Белгородской области были выявлены главные факторы риска. Анализ сосредоточился на десяти ключевых показателях с учетом их распределения по зонам ответственности.

Первое место по значимости заняла проблема задержки платежей. При этом 78 % ответственности за данную ситуацию несет заказчик проекта, что существенно тормозит реализацию строительных инициатив в регионе.



Рис. 2. Системная модель оценки в сфере строительства

На втором месте оказалась проблема проектного финансирования, где ответственность заказчика достигает 90 %. Эти две взаимосвязанные проблемы формируют порочный круг финансовых трудностей, приводящий к значительным временным и материальным потерям при осуществлении строительных проектов.

Такое распределение рисков и ответственности отражает специфику строительного рынка Белгородской области и требует особого внимания со стороны участников проектной деятельности [16].

Для минимизации этого требуется: детальный анализ проектной документации; своевременное планирование поставок; четкое определение объемов работ на этапе подготовки контракта; взаимная проверка документации всеми участниками проекта.

Таким образом, изучив предметную область, авторы наметили основные аспекты цифрового приложения, которые легли в основу технического задания будущей системы.

При разработке цифрового приложения наша команда руководствовалась комплексом нормативных документов, включая Техническое задание по содержанию и оформлению [17, с. 13], Техническое задание на создание автоматизированной системы [18, с. 2], стандарт «Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем» [19, с. 5] и Методические указания по содержанию документации [20, с. 7], что позволило создать продукт, соответствующий всем требованиям и стандартам в области информационных технологий.

```
using UnityEngine;

using UnityEngine.SceneManagement;
using UnityEngine.UI;
using System.Collections.Generic;

public class PauseMenu : MonoBehaviour
{
    public static bool GameIsPaused = false;

    public GameObject pauseMenuUI; // UI меню паузы
    public GameObject settingsMenuUI; // UI меню настроек
    public GameObject helpMenuUI; // UI окна помощи
    public Slider sensitivitySlider; // Слайдер для чувствительности мыши
    public Slider volumeSlider; // Слайдер для изменения громкости

    public Dropdown resolutionDropdown; // Выпадающее меню для выбора разрешения
    public Toggle fullscreenToggle; // Переключатель для выбора полноэкранного
    режима
    public Dropdown qualityDropdown; // Выпадающее меню для выбора уровня качества

    public ElectricPanelZone electricPanelZone; // Ссылка на ElectricPanelZone

    private const string SensitivityKey = "MouseSensitivity";
    private const string VolumeKey = "Volume";
    private const string FullscreenKey = "Fullscreen";
    private const string QualityLevelKey = "QualityLevel";

    private Resolution[] customResolutions = new Resolution[]
    {
        new Resolution { width = 800, height = 600 },
        new Resolution { width = 1280, height = 1024 },
        new Resolution { width = 1366, height = 768 },
        new Resolution { width = 1440, height = 900 },
        new Resolution { width = 1536, height = 864 },
        new Resolution { width = 1600, height = 900 },
        new Resolution { width = 1920, height = 1080 }
    };
};
```

Рис. 3. часть кода программы оптимизации организационной системы

В качестве комплексного подхода к управлению организационными системами было разработано приложение, которое включает следующие функции:

1. Анализ и определение потенциальных угроз и оценка их влияния на проект.

2. Планирование мероприятий: разработка стратегий для снижения рисков и повышения безопасности проекта.

3. Мониторинг и контроль: отслеживание изменений и корректировка планов при необходимости.

4. Отчетность и анализ: предоставление информации о рисках и мерах по их устранению для принятия обоснованных решений.

5. Интеграция с другими системами: возможность взаимодействия с другими инструментами и системами для более точного анализа.

Для работы с приложением необходимо следующее программное обеспечение:

– Visual Studio/Visual Studio Code (для работы с кодом);

– Кросс-платформенная среда разработки Unity (для визуализации процессов, создания сцен и различных ситуаций).

На рисунке 3 представлена часть кода программы оптимизации организационной системы.

Заключение

Представленная программа процессов управления организационными системами позволит повысить эффективность строительных проектов в Белгородской области и минимизировать возможные негативные последствия.

Список литературы

1. Абдурахманова М.М. Механизм кредитно-финансового обеспечения малого бизнеса в России // Российское предпринимательство. 2020. № 7 (229). С. 58–63.
2. Зорина О.А., Масыгина Н.И. Необходимость и возможность применения BIM-технологии в оценке уровня техносферной безопасности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2024. № 1 (47). С. 115–122. DOI: 10.52684/2312-3702-2024-47-1-115-122.
3. Бессонов И.С. Количественные характеристики малого бизнеса в России // Российское предпринимательство. 2019. № 19 (265). С. 14–15.
4. Быстров О.Ф., Поздняков В.Я. Управление инвестиционной деятельностью в регионах Российской Федерации: монография. М.: ИНФРА-М, 2018. 280 с.
5. Дудов А.С. Оценка основных аспектов развития строительного комплекса // Управление экономическими системами. 2020. № 2 (62). С. 67–73.

6. Куликов В.Г., Рыбалкина З.М. Методика оценки управляемости организации // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 6. С. 12–15.

7. Ищенко К.А., Горелик С.Г., Милутина Е.В., Барабанщиков А.А. Эффективная диспансеризация и адекватная физическая активность как составляющие анти-эйджинговой программы на предприятии Белгородской области // Innova. 2020. № 4 (21). С. 12–17.

8. Маслов В.А. Качество, безопасность и управление рисками в строительном проектировании // Universum. Серия: технические науки. 2024. № 2 (119). С. 56–60. DOI: 10.32743/UniTech.2004.119.2/16777.

9. Масыгина Н.И. Поддержание здоровья и безопасности на рабочем месте и обеспечение безопасных условий труда // Наука в XXI веке: инновационный потенциал развития: сборник научных статей по материалам X Международной научно-практической конференции (Уфа, 30 декабря 2022 г.). В 2 ч. Ч. 1. Уфа: Издательство НИЦ Вестник науки, 2022. С. 91–96.

10. Музалева Т.И., Решетов К.Ю. Особенности минимизации рисков в металлургической промышленности // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 10–2. С. 104–108. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-10-2-104-108.

11. Прядко С.Н., Винник А.Е. Формирование ключевых компетенций в управлении региональных предприятий // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 219–222. DOI: 10.12737/23551.

12. Рами Абдулла Ба Хамид, Дох Шу Инг. Обзор процесса управления в строительных проектах развивающихся стран // Ноябрь 2017. Серия конференций IOP по материаловедению и инженерии. 271 (1): 012042. DOI: 10.1088/1757-899X/271/1/012042.

13. Соловьева А.С., Фролова И.П., Загайнова Е.И. Управление рисками инвестиционных проектов в строительстве в современных условиях // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 10. С. 32–36.

14. Строительство в российских регионах: итоги 2024 года [Электронный ресурс]. URL: <https://sherpagroup.ru/analytics/gv6bq48> (дата обращения: 20.02.2025).

15. Пузырев А.М., Козырева Л.В. Разработка методики оценки профессиональных рисков в строительстве // Безопасность техногенных и природных систем 2022. № 1. С. 9–17. ISSN: 2541-9129.

16. Сысоева Е.В. Управление безопасностью труда и здоровьем сотрудников в организации // Инновации и инвестиции. 2018. № 12. С. 129–134.

17. ГОСТ 19.201-78 Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. М.: Стандартинформ, 1978. 13 с.

18. ГОСТ 19.301-79 Единая система программной документации. Техническое задание на создание автоматизированной системы. М.: Стандартинформ, 1979. 2 с.

19. ГОСТ 19.101-2024 Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем. М.: Стандартинформ, 2024. 5 с.

20. ГОСТ Р 59794-2021 Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов. М.: Стандартинформ, 2021. 7 с.

УДК 004.9

DOI 10.17513/snt.40392

МНОГОФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПРИБОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Самерханов И.З.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, e-mail: ildar.samerhanov@mail.ru

Целью работы является исследование влияния неоднородности приборов на функциональные характеристики многофазной системы массового обслуживания. В системах такого типа требования последовательно проходят через несколько этапов обработки, при этом каждый из этапов может представлять собой отдельную операцию или группу операций с одинаковой или различной скоростью обслуживания. Если требование уже завершило обработку на одной из фаз, а все приборы в следующей фазе заняты, предполагается, что заявка остается на приборе, временно блокируя его работу. В качестве показателей эффективности рассматриваются p_0 – вероятность того, что ни один из каналов обслуживания в системе не занят, и $p_{отк}$ – вероятность того, что вновь прибывшая заявка не сможет получить обслуживание из-за занятости всех каналов. С помощью разработанных в среде AnyLogic моделей получен ряд результатов для многофазных систем с неоднородными приборами при различных конфигурациях входного потока и интенсивности устройств. Для исследования закономерностей влияния неоднородности приборов на общую производительность системы полученные результаты сопоставлены с результатами для классических систем с однородными приборами. Анализ показал, что при незначительной нагрузке система с приборами различной производительности может быть эффективнее, чем система с приборами одинаковой производительности. Кроме того, установлено, что многофазный характер обслуживания заявок может усиливать влияние неодинаковой скорости работы приборов на общую эффективность системы. Исследование актуально для широкого круга прикладных задач, связанных с проектированием и управлением сложными системами.

Ключевые слова: многофазные системы массового обслуживания, приборы различной производительности, имитационное моделирование

Работа выполнена за счет гранта Республики Татарстан, предоставленного молодым ученым и молодежным научным коллективам на проведение научных исследований в наиболее перспективных и значимых для развития Республики Татарстан областях.

MULTIPHASE QUEUING SYSTEMS WITH HETEROGENEOUS SERVERS

Samerkhanov I.Z.

Kazan national research technological university, Kazan, ildar.samerhanov@mail.ru

The purpose of the research is to study the effect of heterogeneity of servers on the functional characteristics of a multiphase queuing system. In systems of this type, requirements go through several processing stages sequentially, and each of the stages can be a separate operation or a group of operations with the same or different service speeds. If the request has already completed processing in one of the phases, and all the devices in the next phase are busy, it is assumed that the request remains on the server, temporarily blocking its operation. The performance indicators are p_0 – the probability that none of the service channels in the system is busy, and $p_{отк}$ – the probability that a newly arrived application will not be able to receive service due to the busy servers. Using models developed in the AnyLogic environment, a number of results have been obtained for multiphase systems with heterogeneous servers with different input flow configurations and device intensities. To study the patterns of the effect of heterogeneity of servers on the overall performance of the system, the results obtained are compared with the results for classical systems with homogeneous servers. The analysis showed that under low load, a system with heterogeneous servers can be more efficient than a system with homogeneous servers. In addition, it has been found that the multiphase nature of the application service may enhance the effect of varying instrument speeds on the overall efficiency of the system. The research is relevant for a wide range of applied tasks related to the design and management of complex systems.

Keywords: multiphase queuing systems, heterogeneous servers, simulation modeling

The work was carried out at the expense of a grant from the Republic of Tatarstan provided to young scientists and youth research teams to conduct scientific research in the most promising and significant areas for the development of the Republic of Tatarstan.

Введение

В настоящее время модели систем массового обслуживания (СМО) находят широкое применение в управлении процессами в телекоммуникациях, логистике, энергетике и многих других секторах экономики.

В контексте новой промышленной революции, известной как Индустрия 4.0, принципы теории массового обслуживания также используются в управлении высокоавтоматизированными производствами (например, умными фабриками), большими данными,

интернетом вещей, в аддитивных технологиях, беспилотной авиации и т.д.

Многие современные системы и процессы, которые могут быть описаны в терминах теории массового обслуживания, являются многофазными [1, 2]. В системах такого типа каждое требование (заявка) последовательно проходит через несколько этапов (иначе – фаз) обработки, при этом каждый из этапов может представлять собой отдельную операцию или группу операций с одинаковой или различной скоростью обслуживания. Примером такой системы может служить производственный процесс, в котором изготавливаемая продукция проходит несколько стадий обработки. В настоящее время классические многофазные системы достаточно хорошо исследованы, системам такого типа посвящено немало научных работ отечественных и зарубежных авторов, например [3, 4].

Кроме многофазности, часто реальные системы характеризуются различной производительностью приборов (каналов, обслуживающих устройств) [5–7]. Неодинаковая скорость работы устройств позволяет учесть различия в сложности операций, сбалансировать нагрузку на систему и, соответственно, избежать перегрузки отдельных этапов. К примеру, на предприятиях, оснащенных роботизированными линиями, системы такого типа позволяют оптимально минимизировать время простоя оборудования. В сфере телекоммуникаций такие СМО дают возможность оперативно реагировать на изменение трафика и предотвращать перегрузки системы. В условиях динамично меняющейся среды, характерной для настоящего времени, системы массового обслуживания с приборами различной производительности обеспечивают большую гибкость и управляемость, что делает их особенно актуальными [8]. Кроме того, при эффективном управлении потоками требований системы такого типа могут обеспечивать большую производительность по сравнению с классическими системами с однотипными приборами [9, 10].

Многофазные СМО с приборами различной производительности встречаются в различных сферах, где процессы обслуживания делятся на несколько последовательных этапов, выполняемых с разной скоростью. Примером такой системы может служить производственная роботизированная линия на заводе, где товары проходят стадии подготовки сырья, основного производства и контроля качества, причем каждое оборудование работает с разной скоростью.

Несмотря на имеющиеся работы, предметом исследования которых являются си-

стемы такого типа [11, 12], некоторые вопросы эффективного управления потоками в них в настоящее время исследованы весьма неполно. В частности, автору неизвестны работы, связанные с исследованием областей параметров, при которых системы с приборами различной производительности могут быть эффективнее классических СМО.

В рамках настоящей работы предпринята попытка изучения некоторых функциональных особенностей и закономерностей поведения многофазных СМО с приборами различной производительности. **Целью работы** является исследование влияния неоднородности приборов на функциональные характеристики многофазной системы массового обслуживания.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим k -фазную систему массового обслуживания, на вход которой поступает пуассоновский поток заявок интенсивности λ , $\lambda > 0$. Система состоит из n , $n > 0$ устройств, их количество на всех фазах обслуживания одинаково. Интенсивности приборов равны соответственно $\mu_1, \dots, \mu_n$, при этом $\mu_1, \dots, \mu_n > 0$.

Примем, что система такого типа обладает приборами одинаковой производительности, если

$$0 < \mu_1 = \dots = \mu_{n/k}, \dots, 0 < \mu_{\frac{n}{n-k}+1} = \dots = \mu_n.$$

Иными словами, будем считать, что СМО обладает каналами одинаковой производительности, если их интенсивности равны в каждой из фаз обслуживания. При этом суммарная производительность приборов каждой из фаз может быть различной. В системах с приборами различной производительности будем считать что

$$0 < \mu_1 < \dots < \mu_{n/k}, \dots, 0 < \mu_{\frac{n}{n-k}+1} < \dots < \mu_n,$$

то есть в каждой из фаз обслуживания приборы отсортированы по величине производительности, причем суммарная интенсивность приборов в каждой из фаз также может быть различной.

Поступающее в систему требование последовательно проходит через несколько фаз обслуживания, при этом, если требование уже завершило обработку на одной из них, а все каналы в следующей фазе заняты, данная заявка остается на приборе, временно блокируя его работу.

В качестве простейшего примера рассмотрим 2-фазную систему массового обслуживания без функции накопления очереди, состоящую из 4 приборов. На вход системы поступает пуассоновский поток за-

явок интенсивности $\lambda, \lambda > 0$. Интенсивности приборов равны соответственно $\mu_1, \dots, \mu_4$, $\mu_1, \dots, \mu_4 > 0$ (если производительности приборов различны, полагаем, что $0 < \mu_1 < \mu_2$, $0 < \mu_3 < \mu_4$).

Для управления потоками в системах с разнородными приборами используются различные алгоритмы распределения заявок, для систем с отказами наиболее эффективным среди которых является направление поступающих требований на свободный канал наибольшей производительности [9]. С учетом этого в рамках настоящей работы при проведении вычислительных экспериментов используется данный алгоритм.

В рамках серии вычислительных экспериментов проведен сравнительный анализ показателей эффективности многофазной системы, обладающей каналами одинаковой производительности в каждой из фаз ($\mu_1 = \mu_2 = 5$; $\mu_3 = \mu_4 = 4$), и систем с каналами различной производительности при различных соотношениях интенсивностей приборов – от незначительной разницы между ними ($\mu_1 = 4,5$, $\mu_2 = 5,5$; $\mu_3 = 3,5$, $\mu_4 = 4,5$) до весьма существенной ($\mu_1 = 1$, $\mu_2 = 9$; $\mu_3 = 0,5$, $\mu_4 = 7,5$). Выбор значений интенсивностей для разнородных приборов осуществлялся таким образом, чтобы суммарная производительность системы оставалась постоянной. Данные значения в совокупности с различными вариациями входного потока λ позволяют без привязки к определенной реальной системе исследовать общие закономерности функционирования СМО такого типа в широком диапазоне нагрузки

$$\tilde{\gamma} = \frac{\lambda}{\sum_{k=1}^n \mu_k},$$

как в условиях небольшого напряжения, так и при перегрузке [9]. Такой подход помогает объективно сравнивать показатели систем и выявлять узкие места.

В качестве показателей эффективности рассматриваются p_0 – вероятность того, что ни один из каналов обслуживания в системе не занят, то есть система находится в состоянии покоя, и $p_{\text{отк}}$ – вероятность того, что вновь прибывшая заявка не сможет получить обслуживание из-за занятости всех каналов. Эти показатели важны для оценки эффективности работы СМО, так как они отражают баланс между ее способностью обрабатывать входящие заявки и уровнем загрузки каналов.

Суммарная производительность каналов во всех рассматриваемых системах равна $\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 18$.

Параметры исследуемых моделей представлены в таблице 1.

Для проведения вычислительных экспериментов используется программный комплекс AnyLogic [13–15]. Данная среда является достаточно эффективным и удобным инструментом для моделирования и анализа различных типов СМО, включая многофазные системы. Стандартные блоки AnyLogic позволяют легко настраивать параметры разработанных моделей, такие как интенсивность поступления заявок, производительность каналов и иное, что упрощает тестирование различных сценариев и оценку эффективности систем.

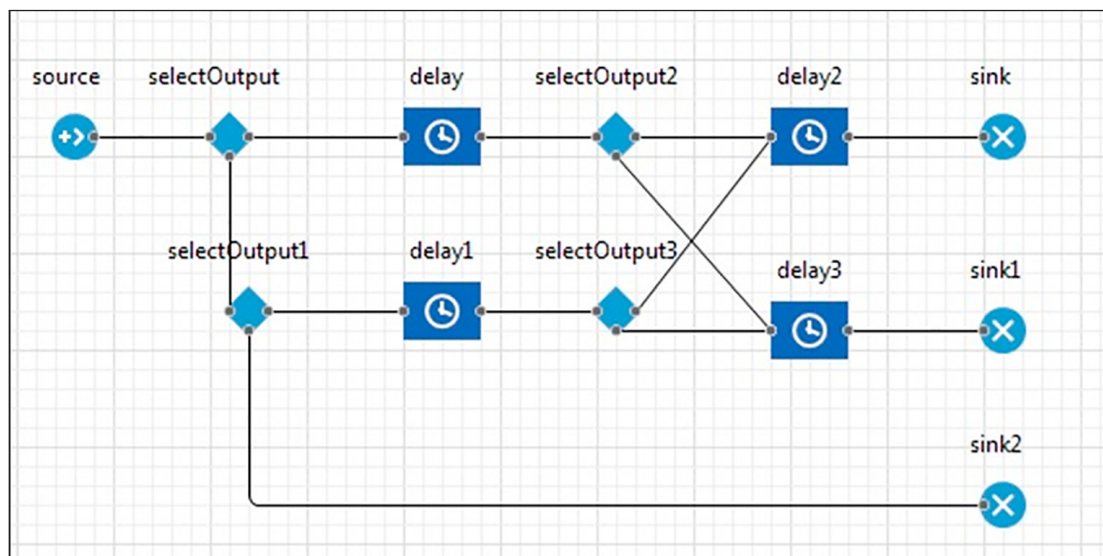
Модель 2-фазной системы представлена на рисунке. В данной модели блоки delay и delay1 имеют роль первой фазы обслуживания, delay2 и delay3 – второй фазы. Потоки требований распределяются через блоки selectOutput – selectOutput3.

Таблица 1

Параметры исследуемых моделей

		μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
Приборы одинаковой производительности	СМО-0	5	5	4	4
Приборы различной производительности	СМО-1	4,5	5,5	3,5	4,5
	СМО-2	4	6	3	5
	СМО-3	3,5	6,5	2,5	5,5
	СМО-4	3	7	2	6
	СМО-5	2,5	7,5	1,5	6,5
	СМО-6	2	8	1	7
	СМО-7	1,5	8,5	0,5	7,5
	СМО-8	1	9	0,5	7,5

Примечание: составлено автором.



Имитационная модель 2-фазной СМО
Источник: составлено автором

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице 2 представлены результаты серии вычислительных экспериментов: области эффективности 2-фазной системы с приборами различной производительности по показателю p_0 . Значения в ячейках таблицы равны $p_{02} - p_{01}$ (p_{02} и p_{01} – вероятности отсутствия заявок в многофазной СМО с каналами одинаковой и различной производительности соответственно). Таким образом, положительные значения в ячейках таблицы указывают на то, что при данных параметрах нагрузки на систему и соответствующих соотношениях в производительности обслуживающих устройств (от незначительной разницы между ними при «СМО-1» и до значимой при «СМО-8») многофазная

система с приборами различной производительности является более эффективной, чем система с приборами одинаковой производительности. Отрицательные значения представляют собой разницу между вероятностями для различных конфигураций СМО, а не сами вероятности. Таким образом, отрицательные значения демонстрируют относительную эффективность одной системы по отношению к другой.

Анализ таблицы 2 позволяет выявить некоторые особенности поведения многофазных СМО с приборами различной производительности. Основной вывод заключается в том, что при соблюдении некоторых условий такие системы могут демонстрировать преимущества перед классическими системами с однородными каналами.

Таблица 2

Области эффективности СМО по показателю p_0

λ	СМО-1	СМО-2	СМО-3	СМО-4	СМО-5	СМО-6	СМО-7	СМО-8
1	0,012	0,022	0,031	0,035	0,037	0,034	0,021	0,004
3	0,012	0,021	0,024	0,019	0,006	-0,026	-0,069	-0,117
5	0,01	0,012	0,014	0,01	-0,009	-0,035	-0,075	-0,104
7	0,004	0,005	0,006	-0,006	-0,011	-0,032	-0,052	-0,077
9	0,003	-0,001	0,003	-0,004	-0,013	-0,028	-0,042	-0,059
11	0,003	0	0	-0,005	-0,012	-0,02	-0,031	-0,045
13	0,003	0	-0,001	-0,006	-0,009	-0,018	-0,024	-0,035
15	0,001	0	-0,001	-0,002	-0,006	-0,01	-0,019	-0,025

Примечание: составлено автором.

Таблица 3

Области эффективности СМО по показателю $p_{отк}$

λ	СМО-1	СМО-2	СМО-3	СМО-4	СМО-5	СМО-6	СМО-7	СМО-8
1	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	-0,002	-0,004
3	0,001	0,003	0,002	-0,004	-0,013	-0,03	-0,062	-0,073
5	0,001	0	0,002	-0,004	-0,022	-0,047	-0,084	-0,096
7	-0,001	-0,003	-0,002	-0,017	-0,03	-0,053	-0,076	-0,093
9	-0,001	-0,008	-0,005	-0,016	-0,028	-0,052	-0,074	-0,09
11	0,001	-0,008	-0,009	-0,019	-0,032	-0,047	-0,071	-0,082
13	0,001	0	-0,009	-0,016	-0,025	-0,045	-0,061	-0,072
15	-0,001	-0,006	-0,007	-0,014	-0,026	-0,037	-0,058	-0,067

Примечание: составлено автором.

При низкой нагрузке ($\lambda < 5$) системы с приборами различной производительности в основном показывают лучший результат по сравнению с однородными системами. Эта тенденция наиболее ярко проявляется при значениях интенсивностей приборов в «СМО-2» – «СМО-6» (См. параметры в таблице 1). По мере увеличения загрузки эффективность систем такого типа начинает снижаться, причем быстрее всего это происходит в системах «СМО-7» – «СМО-8». Однако даже в этих условиях система с малой неоднородностью приборов «СМО-1» продолжает показывать небольшие преимущества. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что системы с малыми различиями в производительности остаются устойчивее к увеличению нагрузки. При высокой загрузке почти все многофазные системы с приборами различной производительности теряют свою эффективность, демонстрируя худшие результаты по сравнению с однородными системами.

Также обращает на себя внимание то, что характер распределения представленных областей эффективности во многом совпадает с распределением областей эффективности классических однофазных СМО, рассмотренных ранее, например в [8].

В таблице 3 представлены области эффективности многофазной СМО по показателю $p_{отк}$. Значения в ячейках данной таблицы равны $p_{отк1} - p_{отк2}$ ($p_{отк1}$ и $p_{отк2}$ – вероятность того, что вновь прибывшая заявка не сможет получить обслуживание из-за занятости всех каналов в СМО с каналами одинаковой и различной производительности соответственно).

По данным таблицы 3, при интенсивности входного потока $\lambda = 1$ по показателю p_0 многофазная система с неэквивалентными каналами эффективнее своего классиче-

ского аналога на 0,035, в то же время по показателю $p_{отк}$ при тех же исходных параметрах система с неэквивалентными каналами опережает систему с каналами одинаковой производительности на 0,003. Данное значение находится в пределах погрешности средств имитационного моделирования. При этом области эффективности систем с приборами различной производительности практически идентичны для обоих исследуемых показателей. Несмотря на незначительную разницу в показателях $p_{отк}$, данное обстоятельство должно приниматься во внимание при проектировании или моделировании СМО.

Выводы

Неоднородность приборов оказывает существенное влияние на функциональные характеристики многофазных систем массового обслуживания. На основе проведенных вычислительных экспериментов с использованием программного комплекса AnyLogic установлено, что многофазные СМО с неоднородными приборами способны обеспечивать более высокую производительность по сравнению с классическими системами. Наиболее выражено это проявляется при низкой загрузке системы и относительно небольших различиях в производительности каналов. Это связано, в первую очередь, с гибкостью распределения требований между обслуживающими устройствами. Кроме того, выявлено, что многофазный характер обслуживания заявок дополнительно усиливает влияние неоднородности приборов на общую производительность системы.

Результаты работы могут найти практическое применение в сфере телекоммуникаций, промышленности и логистики, способствуя созданию более эффективных

моделей обслуживания. Использование данных выводов может развить потенциал для повышения конкурентоспособности предприятий и организаций, внедряющих передовые технологии управления процессами массового обслуживания.

Данные результаты хорошо согласуются с выводами, ранее полученными для однофазных систем, что подтверждает универсальность выявленных принципов. Это создает основу для продолжения исследований в данном направлении. Для дальнейшего развития темы видится возможным расширить область исследований, включив в нее модели с большим количеством фаз и каналов, а также построить соответствующие решающие правила для увеличения пропускной способности систем такого типа.

Список литературы

1. Казаков А.Л., Павидис М.М., Жарков М.Л. Применение многофазных систем массового обслуживания для моделирования сортировочной станции // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2018. № 2 (38). С. 4-14. DOI: 10.20291/2079-0392-2018-2-4-14.
2. Казаков А.Л., Лемперт А.А., Жарков М.Л. Моделирование транспортно-пересадочных узлов на основе систем массового обслуживания – многофазных и с ВМАР-поток // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2016. № 4 (32). С. 4-14. DOI: 10.20291/2079-0392-2016-4-4-14.
3. Грачев В.В., Моисеев А.Н., Назаров А.А., Ямпольский В.З. Многофазная модель массового обслуживания системы распределенной обработки данных // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 2-2 (26). С. 248-251. URL: <https://journal.tusur.ru/ru/arhiv> (дата обращения: 15.03.2025).
4. Ефимушкина Т.В. Многофазная СМО в дискретном времени с распределяемым между фазами множеством приборов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 7. С. 60-68. URL: <https://media-publisher.ru/archive/> (дата обращения: 15.03.2025).
5. Sridhar A., Pitchai R. Analysis of a Markovian Queue with Two Heterogeneous Servers and Working Vacation // Intern. J. Applied Operational Research. 2015. Vol. 5. Is. 4. P. 1-15. URL: <https://ijorlu.liau.ac.ir/article-1-458-en.html> (дата обращения: 12.03.2025).
6. Legros, B., Jouini O. Routing in a queueing system with two heterogeneous servers in speed and in quality of resolution // Stochastic Models. 2017. Vol. 33. № 3. P. 392-410. DOI: 10.1080/15326349.2017.1303615.
7. Xu J., Liu L., Zhu T. Transient Analysis of Two-Heterogeneous Server Queue with Impatient Behavior and Multiple Vacations // J. Systems Science and Information. 2018. Vol. 6. Iss. 1. P. 69-84. DOI: 10.21078/JSSI-2018-069-16.
8. Самерханов И.З., Печеный Е.А., Нуриев Н.К. Система массового обслуживания с каналами различной производительности, функционирующая в условиях смешанных потоков // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 3. С. 87-92. DOI: 10.17513/snt.39951.
9. Печеный Е.А., Самерханов И.З., Нуриев Н.К. Модель управления системой массового обслуживания с неэквивалентными каналами // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 4. С. 83-88. DOI: 10.17513/snt.39112.
10. Самерханов И.З. О влиянии разделения каналов различной производительности на показатели эффективности системы массового обслуживания // Сборник трудов одиннадцатой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2023). Казань: Издательство АН РТ, 2023. С. 698-703. URL: <http://simulation.su/static/ru-articles-immmod-2023.html> (дата обращения: 14.03.2025).
11. Palaniammal S., Kumar K. A bulk queue's analysis with two-stage heterogeneous services, multiple vacations, close-down with server breakdown, and two types of renovation // Mathematical Models in Engineering. 2024. Vol. 10. № 2. P. 49-64. DOI: 10.21595/mme.2023.23827.
12. Somasudaram B., Karpagam S., Lokesh R., Kavin Sagan Mary A. An M[X]/G/1M[X]/G/1 queue with optional service and working breakdown // Ural mathematical journal. 2023. Vol. 9. № 1. P. 162-175. DOI: 10.15826/umj.2023.1.015.
13. Мокшин В.В., Кирпичников А.П., Буйнова Е.Л., Гараева Э.Р., Ямалтдинова А.А., Золотухин А.В. Особенности оптимизации работы систем массового обслуживания в Anylogic на примере фитнес-центра // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 5. С. 132-140. URL: https://www.kstu.ru/article.jsp?id_e=23840&id=1910 (дата обращения: 15.03.2025).
14. Язвенко М.Р., Морозков А.Г. Моделирование морского грузового порта как системы массового обслуживания в среде AnyLogic // Системный анализ и логистика. 2020. № 4 (26). С. 59-66. DOI: 10.31799/2007-5687-2020-4-59-66.
15. Самерханов И.З. О применимости имитационного моделирования для расчета показателей систем массового обслуживания с неэквивалентными каналами // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 6. С. 101-104. URL: https://www.kstu.ru/article.jsp?id_e=23840&id=1910 (дата обращения: 15.03.2025).

УДК 539.431:678

DOI 10.17513/snt.40393

ИЗНОСОСТОЙКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Сергеева Е.А., Хубатхузин А.А., Даловский К.Д.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, e-mail: prof.sergeeva@gmail.com, al_kstu@mail.ru, dalovskiykirill@gmail.com

Показано, что сверхвысокомолекулярный полиэтилен применяется в деталях и узлах триботехнического назначения вследствие уникального сочетания прочностных и эластичных свойств. Выявлена проблема гидрофобности такого полиэтилена, инертности, что препятствует пропитке полимерными матрицами и созданию износостойких композитов. Охарактеризованы ограничения традиционных способов химической активации полиэтилена по причине ресурсозатратности процессов. Выявлена перспективность плазменной модификации и поставлена цель создания физической модели композита с повышенным значением показателя прочности связи между тканым сверхвысокомолекулярным полиэтиленом и эпоксидно-диановой матрицей. Методы исследования: активация холодной плазмой в среде воздуха, оценка смачиваемости методом «сидячей капли», анализ прочности связи с матрицей на разрывной машине до и после активации полиэтилена плазмой, спектроскопия. В результате плазменного воздействия повышено значение показателя смачиваемости поверхности полиэтилена более чем в 3 раза, что позволяет пропитать износостойкий материал матрицей; существенно повышено значение показателя прочности связи исследуемого полиэтилена с эпоксидно-диановым связующим. Установлено, что плазменная модификация способствует формированию азот- и кислород-содержащих групп в поверхностном слое полиэтилена, что повышает его способность к химическому взаимодействию с матрицей, обеспечивает возможность получения устойчивого к нагрузкам композита триботехнического назначения на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

Ключевые слова: износостойкость, композит, модификация, плазма, прочность, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, смачиваемость

WEAR-RESISTANT MATERIAL BASED ON ULTRA-HIGH MOLECULE WEIGHT POLYETHYLENE

Sergeeva E.A., Khubatkhuzin A.A., Dalovskiy K.D.

Kazan National Research Technological University, Kazan,
e-mail: prof.sergeeva@gmail.com, al_kstu@mail.ru, dalovskiykirill@gmail.com

It is shown that ultra-high molecular weight polyethylene is used in tribotechnical parts and units due to the unique combination of strength and elastic properties. The problem of hydrophobicity of such polyethylene, inertness, which prevents impregnation with polymer matrices and creation of wear-resistant composites is revealed. Limitations of traditional methods of chemical activation of polyethylene due to resource-intensive processes are characterized. The prospects of plasma modification are revealed and the goal is to create a physical model of a composite with an increased value of the bond strength indicator between woven ultra-high molecular weight polyethylene and epoxy-diane matrix. Research methods: activation with cold plasma in air, wettability assessment by the "sessile drop" method, analysis of the bond strength with the matrix on a tensile testing machine before and after polyethylene activation with plasma, spectroscopy. As a result of plasma exposure, the value of the wettability index of the polyethylene surface is increased more than threefold, which allows impregnation of the wear-resistant material with the matrix; the value of the bond strength of the studied polyethylene with the epoxy-diane binder has been significantly increased. It has been established that plasma modification promotes the formation of nitrogen- and oxygen-containing groups in the surface layer of polyethylene, which increases its ability to chemically interact with the matrix, and provides the possibility of obtaining a load-resistant tribological composite based on ultra-high molecular weight polyethylene.

Keywords: wear resistance, composite, modification, plasma, strength, ultra-high molecular weight polyethylene, wettability

Введение

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) и композиты с его применением используются в изделиях антифрикционного назначения, в частности в высоконагруженных опорных узлах мостов [1], в деталях трения и уплотнительных элементах техники [2], микроэлектронике и биомедицине [3]. Износостойкие материалы на основе СВМПЭ, вследствие его легкости, имеют повышенную удельную прочность относи-

тельно металлов, угле-, арамидо-, базальто-, стеклопластиков, сочетающуюся с эластичностью, что способствует распределению энергии поверхностных воздействий [4], в том числе при ударных, вибрационных и истирающих нагрузках. Однако проблемой остается обеспечение связи инертного СВМПЭ, стойкого к воздействию кислотно-щелочной активации, с полимерными матрицами, для реализации прочностных свойств в композите.

Для обеспечения связи СВМПЭ с каучуковыми эластомерами применяется введение химических соединений, например дифенилгаунидина, повышающего значение показателя прочности соединения компонентов в композите до трех раз, вследствие влияния вводимого соединения на надмолекулярную структуру СВМПЭ [5]. В случае воздействия комплексом кислот и ультрафиолетовой активации сила связи СВМПЭ с полимерами возрастает до четырех раз, с незначительной потерей прочности на растяжение [6], а при создании многокомпонентных систем СВМПЭ с микроразмерными углеволокнами и твердосмазочными частицами происходит рост сопротивления композита изнашиванию при различных триботехнических воздействиях [7]. Однако сложные химические, физико-химические воздействия и создание многокомпонентных систем усложняют технологию, повышают расход ресурсов в процессах получения композитов на основе СВМПЭ и требуют предварительных комплексных исследований по подбору оптимальных составов компонентов [8, 9].

Известны способы воздействия физического характера на изделия, подвергающиеся трению, например магнитной обработки, применяемой к материалам для упрочнения поверхности и повышения значения показателя износостойкости [10]. Для полимерных высокопрочных материалов целесообразно применение щадящих физических воздействий, например холодной плазмы, способствующей изменению поверхностных свойств материала при приложении определенных режимов плазменной модификации [11]. Действительно, в связи с низкой термостойкостью СВМПЭ воздействие холодной плазмой позволяет исключить деструкционные процессы и нарушение исходных физико-механических свойств материала.

Исследования влияния такой обработки на СВМПЭ демонстрируют возможность повышения прочности связи волокнистого СВМПЭ с эпоксидиановой матрицей и улучшения адгезии к пропиткам и покрытиям, вследствие активации поверхности СВМПЭ [12]. В частности, установлено,

что значение силы, необходимой для выдергивания из матрицы волокна СВМПЭ, активированного холодной плазмой, повышается в 2 раза [13]. Соответственно, актуальны дальнейшие исследования по получению износостойких материалов на основе СВМПЭ с применением холодной плазмы с оценкой ее влияния на изменение свойств поверхности СВМПЭ и механических характеристик композита.

Цель исследования – создание физической модели композита (ФМК) с повышенным значением прочности связи между тканым СВМПЭ и эпоксидно-диановой матрицей через: активацию ткани СВМПЭ холодной плазмой; оценку смачиваемости образцов; пропитку матрицей слоев СВМПЭ; оценку прочности связи слоев ФМК; оценку химических изменений.

Материалы и методы исследования

Текстильный материал рулонного типа из СВМПЭ (Китай) представляет собой белую ткань с поверхностной плотностью 320 г/м², полотняного плетения, с соотношением 1:1 утка и основы. Активацию СВМПЭ выполняли в плазменной установке «ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА» (КНИТУ, Казань) [14], генерирующей высокочастотный разряд емкостного типа. Плазменное воздействие на образцы СВМПЭ осуществлялось в течение 3 и 6 мин в воздушной среде, с предварительным понижением значения давления в камере до 25 Па, подачей воздуха, нагнетаемого в камеру установки с расходом 1500 см³/мин, и обеспечением разряда в 1,5 кВт. Для получения ФМК на основе СВМПЭ выполняли пропитку текстиля эпоксидно-диановым связующим ЭД-20 (ГОСТ 10587-84, в настоящее время действует только на территории РФ).

Оценку изменения поверхностных и физико-механических характеристик СВМПЭ до и после активации осуществляли по стандартным методикам [15]. Анализ краевого угла смачивания выполняли методом «сидячей» капли на приборе EasyDrop. Адгезионную взаимосвязь слоев в композите оценивали по ГОСТ 25.601-80 с адаптированным к целям исследования способом подготовки образцов.

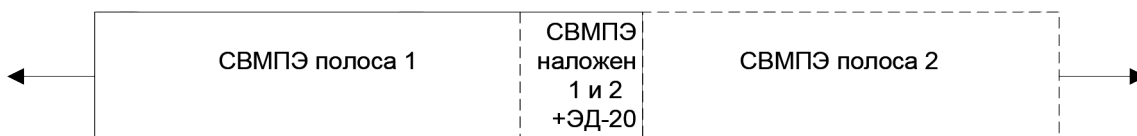


Рис. 1. Схема подготовки образца к испытаниям на разрыв
Источник: составлено авторами

Так, ленты СВМПЭ шириной 3 см, длиной 7 см в количестве 2 шт. пропитывали на 1 см длины ЭД-20 и пропитанными концами накладывали друг на друга, соединяя в единую полосу, где в средней части формируется композит (рис. 1).

После затвердевания смолы образцы разрывали на испытательной машине Shimadzu AGS-X. Химические изменения в образцах СВМПЭ до и после модификации холодной плазмой оценивали с применением инфракрасной (ИК) спектроскопии на ИК-Фурье спектрометре ФСМ 1202.

Результаты исследования и их обсуждение

Для решения проблемы создания износостойких материалов на основе СВМПЭ необходимо обеспечение хорошей адгезии между слоями армирующей СВМПЭ ткани с пропитывающей ее полимерной матрицей, в случае ФМК с матрицей ЭД-20. Прочность соединения компонентов композита обеспечивает высокую стойкость к трению и износу, прочность, долговечность и срок службы изделия. Однако СВМПЭ инертен, в нем отсутствуют функциональные груп-

пы, позволяющие создать монолитный композиционный материал, в котором СВМПЭ и матрица реагируют на нагрузки как единое целое. Плазменная обработка служит активации поверхности СВМПЭ, в результате чего происходит формирование модифицированных приповерхностных слоев с образованием в них химически активных групп. Экспресс-оценка изменения свойств поверхности СВМПЭ после воздействия холодной плазмой производилась по значению показателя краевого угла смачивания (рис. 2, 4).

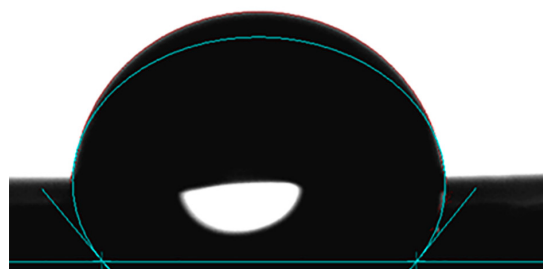


Рис. 2. Краевой угол смачивания исходного образца СВМПЭ
Источник: составлено авторами

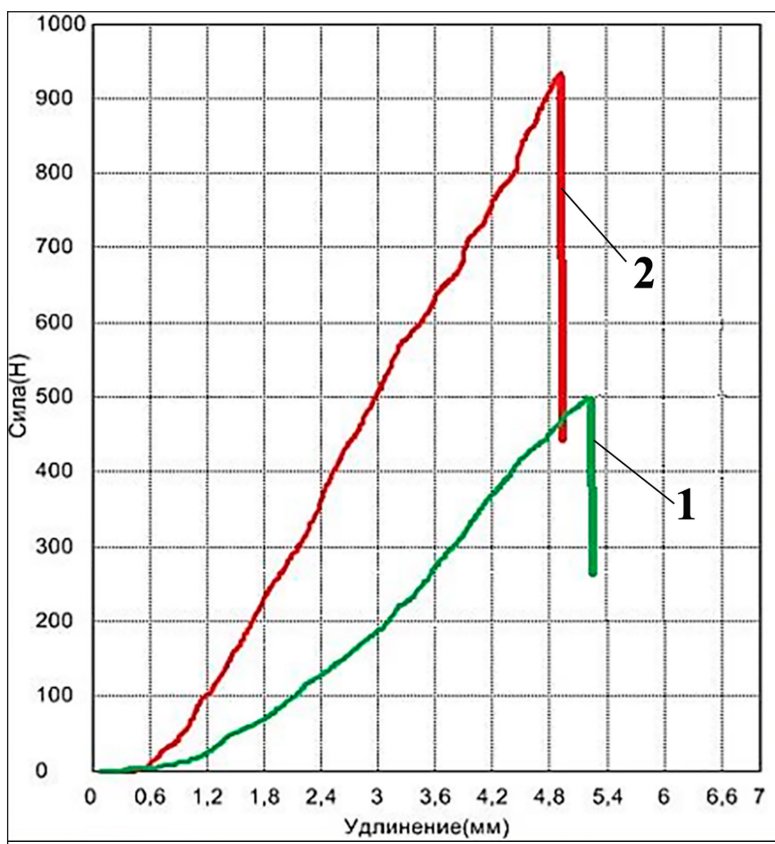


Рис. 3. Графики кривых нагружения образцов:
1 – СВМПЭ без модификации; 2 – СВМПЭ после модификации в течение 6 мин.
Источник: составлено авторами

Как видно из рис. 2, исходный образец СВМПЭ имеет краевой угол смачивания более 120° , что позволяет отнести данный материал к супергидрофобным и объясняет сложности смачивания его матрицами и получения устойчивого соединения с ними. На рис. 3, кривая 1, показана сила приложения разрывной нагрузки, необходимой для отрыва необработанных холодной плазмой полос СВМПЭ ткани, пропитанных ЭД-20 по схеме рис. 1, которая составила 500 Н.

Полученные результаты согласуются с ранними исследованиями [11], когда оценивался ФМК из единичного СВМПЭ волокна и эпоксидно-диановой матрицы по значению показателя высоты поднятия полимера по волокну (изменению капиллярности), который продемонстрировал приращение на 141% у активированного плазмой волокна, относительно необработанного материала. Следовательно, образцы СВМПЭ в процессе плазменной активации приобретают гидрофильные свойства, более выраженные при обработке в течение 6 мин, что потенциально обеспечивает более эффективную пропитку СВМПЭ ткани ЭД-20 и повышение значения показателя

прочности связи между пропитанными слоями СВМПЭ.

Действительно, как видно из рис. 3, кривая 2, модельный образец, полученный на основе модифицированного холодной плазмой СВМПЭ по схеме рис. 1, выдерживает нагрузку на разрыв 925 Н, что в 1,85 раз выше, чем у ФМК, полученной по той же схеме, но без активации СВМПЭ.

Соответственно, воздействие на СВМПЭ холодной плазмы позволяет создать модельный композит с ЭД-20, за счет повышения смачиваемости поверхности образца после модификации и существенного приращения стойкости к разрушающим воздействиям. Для выявления механизма плазменной активации СВМПЭ и возможных химических превращений произвели оценку ИК-спектров до и после воздействия холодной плазмы в течение 6 мин (рис. 5).

Согласно рис. 5 после активации СВМПЭ ткани на спектрах регистрируются выраженные полосы поглощения: в области 1238 и 1510 см^{-1} , отвечающие колебаниям C-N групп; в области 3733 см^{-1} , отражающие присутствие кислородсодержащих групп (-O-).

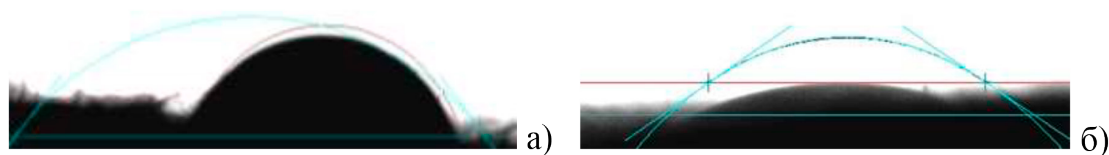


Рис. 4. Диаграмма изменения краевого угла смачивания СВМПЭ после воздействия холодной плазмы: а) образец, обработанный в течение 3 мин; б) образец, обработанный в течение 6 мин.

Источник: составлено авторами

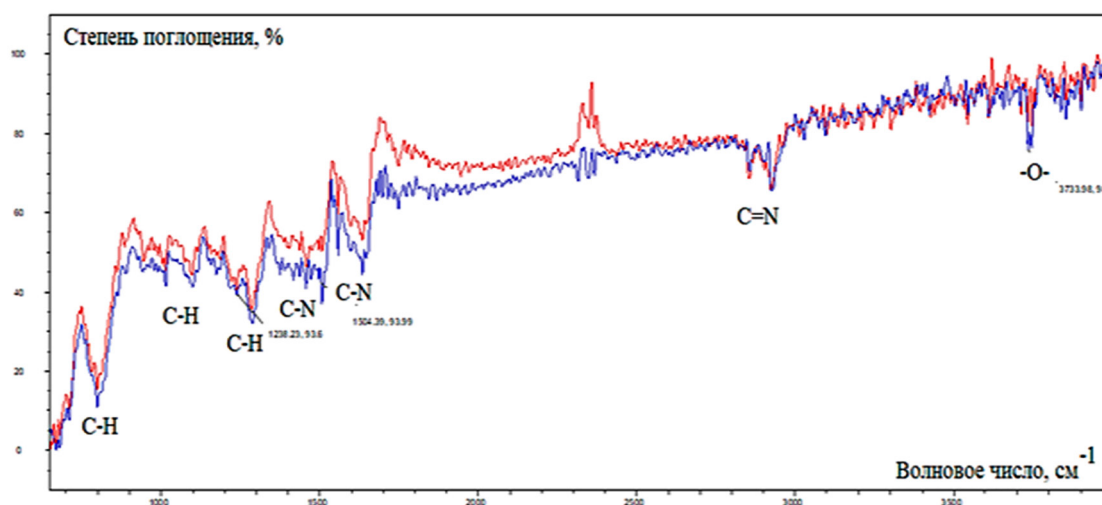


Рис. 5. Фрагмент записи диаграмм ИК-спектров образцов СВМПЭ до и после модификации

Источник: составлено авторами

Результаты, показанные на рис. 5, объясняют положительное влияние воздушной среды холодной плазмы на повышение значения показателя прочности связи компонентов в модельном композите. Так, инертный СВМПЭ, характеризующийся неполярными ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2$ -связями) при воздействии потока воздушной среды в плазменном состоянии, где в ионизированном виде присутствуют кислород- и азот-содержащие соединения, претерпевает бомбардировку данными частицами, обуславливающую разрыв связей в поверхностных слоях СВМПЭ и взаимодействие их с соединениями кислорода и азота плазмы, что обеспечивает формирование на образцах полярных групп, положительно влияющих на смачиваемость поверхности СВМПЭ и прочность соединения компонентов модельного композита.

Результаты исследования физико-механических свойств и ИК-спектроскопии согласуются с данными, полученными на разрывной машине [12], при выдергивании свободного конца моноволокна СВМПЭ из чашечки микрокомпозита с ЭД-20, а также с микрофотографиями поверхности волокна, сделанными на электронном микроскопе [11]. Установлено повышение значения показателя прочности связи моноволокна с ЭД-20 после его обработки в холодной плазме воздушной среды в 2 раза и когезионное распределение полимерной матрицы по поверхности СВМПЭ на микрофотографиях, что в совокупности позволяет рекомендовать холодную плазму для активации СВМПЭ, повышения значения показателя прочности связи с полимерами и получения износостойких композитов.

Заключение

Таким образом, в ходе теоретического анализа проблемы выявлено, что сочетание прочностных и эластичных свойств в СВМПЭ обеспечивает перспективы его использования в изделиях триботехнического назначения, однако инертность поверхности материала затрудняет использование его в композитах с полимерными матрицами, устойчивых к истирающим воздействиям. Показаны возможные способы повышения значения показателя прочности связи СВМПЭ с матрицами за счет его химической модификации при дополнительном введении активирующих соединений и частиц и создания многокомпонентных систем, что усложняет технологию и повышает затраты ресурсов в процессах получения композитов. Охарактеризованы преимущества холодной плазмы для модификации поверхности

СВМПЭ, подтвержденные экспериментально на ФМК в ходе исследования.

Так, при оценке смачиваемости тканного СВМПЭ по методу «сидячей капли» установлена супергидрофобность поверхности образца до активации и рост смачиваемости в 3,5 раза при воздействии холодной плазмой в течение 6 мин. ФМК, полученная из модифицированного плазмой СВМПЭ, демонстрирует в 1,85 раз более высокое значение показателя прочности связи слоев композита, относительно неактивированного образца, что объясняется формированием дополнительных азот- и кислород-содержащих групп, зарегистрированных по результатам ИК-спектроскопии, при воздействии плазмообразующей воздушной среды. Получение повышенного значения показателя прочности связи в ФМК позволяет рекомендовать холодную плазму для активации инертного СВМПЭ, последующего получения и испытания износостойких изделий в композициях с эпоксидно-диановыми, а также другими полимерными матрицами, в интересах создания уплотнителей, лент, футеровочных изделий, работающих в условиях трения.

Список литературы

1. Данилова С.Н., Охлопкова А.А., Гаврильева А.А., Охлопкова Т.А., Борисова Р.В., Дьяконов А.А. Износостойкие полимерные композиционные материалы с улучшенным межфазовым взаимодействием в системе «полимер – волокно» // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2016. № 5 (55). С. 80–92. URL: [https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/struktumye-podrazdeleniya/dnii/vestnik-svfu/arkhiv/arkhiv-2016/Vestnik%205%20\(55\)%202016.pdf](https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/struktumye-podrazdeleniya/dnii/vestnik-svfu/arkhiv/arkhiv-2016/Vestnik%205%20(55)%202016.pdf) (дата обращения: 10.04.2025).
2. Данилова С.Н., Охлопкова А.А., Оконежникова А.В. Разработка композиционных материалов на основе СВМПЭ и углеродного и базальтового волокон // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2024. № 29 (4). С. 661–674. DOI: 10.31242/2618-9712-2024-29-4-661-674.
3. Abdul Samad M. Recent Advances in UHMWPE/UHMWPE Nanocomposite/UHMWPE Hybrid Nanocomposite Polymer Coatings for Tribological Applications: A Comprehensive Review // Polymers. 2021. № 13 (4). P. 608. DOI: 10.3390/polym13040608.
4. Сергеева Е.А., Тихонова Н.В., Даловский К.Д., Гимадеев А.Р. Быстровозводимые модульные конструкции на основе высокопрочных легких композитов // Перспективы науки. 2024. № 6 (177). С. 138–140. EDN PTLFJL. URL: [http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/177/science-prospect-6\(177\)-main.pdf](http://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/177/science-prospect-6(177)-main.pdf) (дата обращения: 08.04.2025).
5. Дьяконов А.А., Шадрин Н.В., Соколова М.Д., Федоров А.Л., Слепцова С.А., Охлопкова А.А. Двухслойный композиционный материал на основе эластомера и сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Т. 15. № 10 (178). С. 438–441. URL: https://www.mashin.ru/eshop/journals/uprochnyayuwie-technologii_i_pokrytiya/2025/23/ (дата обращения: 08.04.2025).
6. Dayyoub T., Kolesnikov E., Filippova O.V., Kaloshkin S.D., Telyshev D.V., Maksimkin A.V. The Influences of Chemical Modifications on the Structural, Mechanical, Tribological and Adhesive Properties of Oriented UHMWPE Films // Journal of Composites Science. 2024. № 8 (1). P. 36. DOI: 10.3390/jcs8010036.

7. Панин С.В., Алексенко В.О., Корниенко Л.А., Буслович Д.Г., Валентюкевич Н.Н. Механические и триботехнические характеристики многокомпонентных твердосмазочных композитов на матрице сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2018. Т. 61. Вып. 11. С. 88–95. DOI: 10.6060/ivkkt.20186111.11y.
8. Mohammed A.J., Mohammed A.S., Mohammed A.S. Prediction of Tribological Properties of UHMWPE/SiC Polymer Composites Using Machine Learning Techniques // Polymers. 2023. № 15 (20). P. 4057. DOI: 10.3390/polym15204057.
9. Васильев А.П., Данилова С.Н., Охлопкова А.А., Дьяконов А.А., Оконешникова А.В., Макаров И.С. Износостойкость композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с комбинированным наполнением // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2023. Т. 89. № 8. С. 76–82. EDN HMERXA. DOI: 10.26896/1028-6861-2023-89-8-76-82.
10. Бурлаченко О.В., Фоменко Н.А., Ляшенко А.А., Рисунов А.Р. Исследование износостойкости и микротвердости валов в зависимости от технологических режимов обработки на основе поверхностно-пластического деформирования в переменном магнитном поле // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 3. С. 14–19. DOI: 10.17513/snt.40318.
11. Сергеева Е.А., Абдуллин И.Ш. Влияние высокочастотного разряда пониженного давления на свойства ВВПЭ волокон // Вестник Казанского технологического университета. 2009. № 2. С. 84–89. EDN KDMYZF.
12. Saitaer X., Wang J., Gao Q., Li Y., Sun J., Cao J., Wang Y., Liu Z., Liu X. Preparation of Superhydrophobic Flame-Retardant UHMWPE Fabrics with Excellent Mechanical Stability by Simple Coating Method // Coatings. 2025. Vol. 15, Is. 4. P. 366. DOI: 10.3390/coatings15040366.
13. Сергеева Е.А., Ибатуллина А.Р., Кадыров Ф.Ф. Повышение адгезионной способности сверхвысокомолекулярного полиэтиленового волокна с помощью плазменной обработки // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 17. С. 123–126. EDN PGQVAL.
14. Khubatkhuzin A.A., Sharifullin F.S., Shaechov M.F. Polymer Composite Materials with Dispersive Fillers Modified in a Gas Discharge // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2379, Is. 1. P. 012004. DOI: 10.1088/1742-6596/2379/1/012004.
15. Букина Ю.А., Сергеева Е.А. Методы контроля качества текстильных материалов. Определение физико-механических характеристик и поверхностных свойств // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 11. С. 49–54. EDN OZOURJ.

УДК 681.5:658.5

DOI 10.17513/snt.40394

МЕТОД ПЕРЕНАЛАДКИ МОБИЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПОД ИЗМЕНЯЕМЫЕ УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Холопов В.А., Макаров М.А., Копытова Е.В.

ФГБОУ «МИРЭА – Российский технологический университет»,

Москва, e-mail: makarov_m@mirea.ru

В статье предложен метод переналадки мобильных компонентов роботизированного технологического комплекса в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства. Целью исследования является разработка системы двухуровневого планирования перемещений мобильного промышленного робота, обеспечивающей его интеграцию с производственным центром для формирования роботизированного технологического комплекса, что позволит оперативно адаптировать производственную систему. Метод сочетает в себе верхнеуровневое планирование, ориентированное на согласование логистики перемещений промышленного робота с общим производственным расписанием, и низкочастотное, целью которого является обеспечение точного пространственно-временного позиционирования робота в зоне интеграции с производственным центром. Для повышения эффективности поиска траекторий перемещения в зоне интеграции в условиях динамически изменяющейся среды предложено использовать адаптированный алгоритм A* с нейросетевой эвристикой на основе графовой нейронной сети. Приведена архитектура взаимодействия уровней планирования, реализованная с использованием воксельной модели рабочего пространства и системы ROS. Результаты, полученные в ходе экспериментов, демонстрируют преимущество предложенного метода применительно к задачам переналадки роботизированных технологических комплексов. В результате применения предлагаемого метода были достигнуты сокращение времени перепланирования, уменьшение количества перестроений маршрута и сокращение его общей длины по сравнению с методами, основанными на классическом алгоритме A*.

Ключевые слова: роботизированный технологический комплекс, мобильные компоненты, автоматизация, многономенклатурное мелкосерийное производство, графовые нейронные сети

METHOD OF RESETTING MOBILE COMPONENTS OF ROBOTIC TECHNOLOGICAL COMPLEXES FOR CHANGING PRODUCTION CONDITIONS

Kholopov V.A., Makarov M.A., Kopytova E.V.

MIREA – Russian Technological University, Moscow, e-mail: makarov_m@mirea.ru

The article proposes a method for reconfiguring mobile components of a robotic technological complex under the conditions of multi-item, small-batch production. The aim of the research is to develop a two-level planning system for movements of a mobile industrial robot, ensuring its integration with a machining center to form a robotic technological complex, thereby enabling rapid adaptation of the production system. The method combines high-level planning, focused on the logistical coordination of robot movements with the overall production schedule, and low-level planning, aimed at precise spatial-temporal positioning of the robot in the integration zone with the machining center. To improve pathfinding efficiency in dynamically changing conditions within the integration zone, an adapted A* algorithm with a neural network heuristic based on a graph neural network is proposed. An architecture of interaction between the planning levels, implemented using a voxel-based workspace model and the Robot Operating System (ROS), is presented. Experimental results demonstrate the advantages of the proposed method for robotic technological complex reconfiguration tasks, showing reduced replanning time, fewer path recalculations, and shorter overall path length compared to methods based on the classical A* algorithm.

Keywords: robotic technological complex, mobile components, automation, multi-item small-batch production, graph neural networks

Введение

Современное многономенклатурное мелкосерийное производство требует от роботизированных технологических комплексов (РТК) высокой степени адаптивности к изменяющимся условиям. Одной из наиболее актуальных задач при этом становится оперативная переналадка таких комплексов, позволяющая быстро перестраивать их конфигурацию под новые производственные задачи. Важным инструментом

для реализации этих задач представляются мобильные компоненты, внедрение которых направлено на обеспечение необходимой гибкости и оперативности в организации производственных процессов.

Анализ существующих исследований показывает, что большое внимание уделяется задачам локального управления мобильными платформами и промышленными роботами. В работе Can Pu и соавторов предлагается общий подход к автоматиза-

ции мобильных манипуляторов для гибких производственных процессов, но отсутствует интеграция с системами управления верхнего уровня [1]. В статье Н.В. Баланева и Р.А. Янова было проведено исследование влияния различных факторов на точность позиционирования промышленных роботов и предложены методы ее повышения [2]. В исследовании Н.А. Сазонниковой и ее коллег получены и представлены решения по повышению точности роботизированных систем в процессе инкрементального формообразования [3]. Схожие подходы были описаны группой S. Inoue, участники которой реализовали высокоточную мобильную роботизированную платформу для реконфигурируемых производственных систем с применением алгоритмов компенсации ошибок и технического зрения [4]. Во всех перечисленных исследованиях [2–4] вопросы интеграции локального управления мобильными платформами с производственным расписанием верхнего уровня остаются без внимания.

Вопросам реконфигурации манипуляторов и мобильных роботизированных систем посвящены исследования F. Valero и соавторов, в которых предложены подходы к реконфигурации параллельного кинематического манипулятора, позволяющие избежать сингулярностей через минимизацию приводных усилий [5]. В работе M. Becker и его соавторов представлен метод реактивного обхода препятствий роботизированными манипуляторами с использованием информационных круговых полей, обеспечивающий адаптивность в динамичных средах [6]. H. Engemann со своим коллективом описывают автономный мобильный манипулятор OMNIVIL, ориентированный на гибкое производство с возможностью быстрой адаптации к изменениям производственной задачи [7]. В работах [5–7] не предложено решений для процессов реконфигурации роботизированных систем и решений задач их интеграции с системами производственного планирования верхнего уровня, что ограничивает возможности использования таких систем в условиях многономенклатурного производства.

Значительный вклад в решение проблем планирования движения и автономной навигации роботизированных платформ представлен в исследованиях S. Feng и его команды, реализовавших автономную систему стыковки модульных роботов, а также I. Jeong и соавторов, изучавших методы планирования траектории мобильных роботов для перемещения по неровным поверхностям [8, 9]. Y. Co Liu своими коллегами провели комплексный обзор технологий сен-

сорного восприятия, необходимых для автономной навигации роботов в помещениях [10]. J. Pankert и его коллектив предложили оригинальные решения для проектирования и планирования движения реконфигурируемых роботизированных баз, однако вопросы интеграции с производственными системами верхнего уровня не получили достаточного отражения в работе [11]. В вышеупомянутых исследованиях основной акцент сделан на алгоритмах локального планирования и автономной навигации, при этом задачи интеграции с верхним уровнем управления производственной системой остаются нерешенными.

На основе анализа результатов перечисленных исследований сделан вывод, что во всех рассматриваемых подходах авторы делают упор на решение отдельных технических задач или локальной автоматизации действий роботизированных платформ. При этом вопросы многоуровневого планирования и согласования действий роботов с производственным расписанием верхнего уровня не затрагиваются. Это существенно затрудняет оперативную переналадку, требующую с учетом изменений в производственной системе, и интеграцию элементов РТК в динамически изменяющихся условиях, характерных для многономенклатурного мелкосерийного производства.

Для преодоления выявленных недостатков и обеспечения оперативного реагирования на изменения в производственном расписании путем переналадки элементов РТК в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства авторами предлагается двухуровневый подход к организации переналадки мобильных компонентов РТК.

При двухуровневом подходе к организации переналадки мобильных компонентов РТК на верхнем уровне осуществляются укрупненное планирование и согласование действий мобильных роботов с общим производственным расписанием, определяющим логистическое перемещение робота от склада к зоне интеграции с производственным центром (ПЦ). На нижнем уровне решаются задачи точного пространственно-временного встраивания робота в зону интеграции с ПЦ, для чего используется адаптированный алгоритм A^* с нейросетевой эвристикой и временными ограничениями, позволяющий в реальном времени координировать действия ПР. Более детально рассматривается нижний уровень планирования, где мобильный промышленный робот (ПР) переходит от решения общей логистической задачи к объединению с ПЦ, формируя единый РТК и оперативно реагируя на изменения локальной производственной среды (рис. 1).

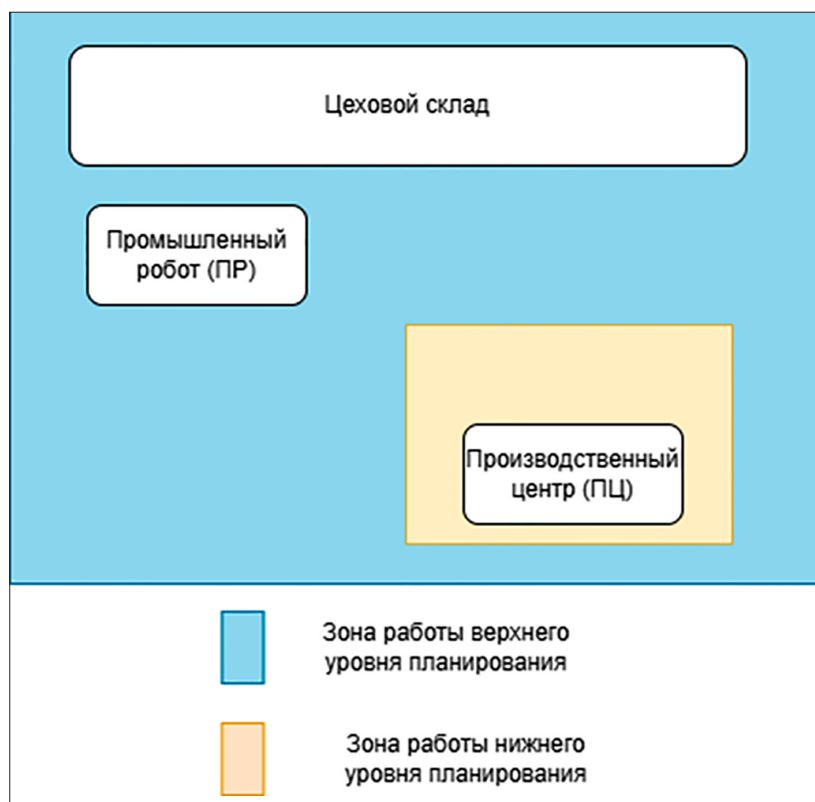


Рис. 1. Структурная схема механообрабатывающего цеха
Источник: составлено авторами

Термином «переналадка» авторы обозначают процесс конфигурации и реконфигурации РТК, подразумевающий пространственную, программную и временную интеграцию ПР и ПЦ, в ходе которой происходят перемещение ПР, обновление маршрутов его движения и корректировка алгоритмов пространственной и временной синхронизации с производственным центром, без изменения технологических параметров и настроек самого ПЦ. Технологическая переналадка производственного оборудования в данной работе не рассматривается. Авторами принято допущение, что в момент интеграции ПР с ПЦ последний уже настроен на обработку доставляемой мобильным ПР партии деталей. Метод позволяет оперативно реагировать на изменения в производственной системе и обеспечивает эффективную переналадку РТК под текущие производственные задачи.

Целью исследования является разработка метода переналадки мобильных компонентов РТК в зоне интеграции его компонентов, позволяющего оперативно адаптировать производственную систему в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства.

Для достижения поставленной цели в исследовании решаются следующие задачи:

- 1) обеспечение доставки мобильным ПР комплекта деталиеустановок от склада до зоны интеграции с ПЦ;
- 2) обеспечение пространственной, программной и временной интеграции мобильного ПР с ПЦ для формирования РТК;
- 3) выполнение производственной задачи РТК, образованной в результате интеграции ПР и ПЦ;
- 4) разработка механизма оперативной разинтеграции РТК после завершения технологической операции.

Материалы и методы исследования

Предлагаемый метод предполагает разделение задач планирования на два взаимосвязанных уровня – верхний и нижний, что позволяет сочетать глобальное производственное расписание с реактивной адаптацией ПР к условиям производственной среды.

Верхний уровень планирования ориентирован на упрощенное управление ресурсами и временными окнами, без погружения в детали пространственного перемещения. Здесь формируется логистическое расписание, определяются временные ин-

тервалы и зоны интеграции с конкретными ПЦ, куда должен переместиться ПР, исходя из доступности этих центров, заданной общим расписанием цеха. Основная задача верхнего уровня заключается в координации производственных процессов и учете ресурсных ограничений, таких как занятость ПЦ, наличие заготовок и доступность транспортных маршрутов.

Нижний уровень планирования решает задачи пространственной координации и синхронизации действий ПР внутри зоны интеграции с ПЦ. Центральной становится задача точного совмещения ПР с ПЦ с использованием данных от системы технического зрения и сигналов от компонентов конфигурируемого РТК. Для этой цели при-

меняется адаптированный алгоритм поиска оптимальной траектории A^* , дополненный нейросетевой эвристикой, который учитывает динамические ограничения производственного окружения, изменения массогабаритных характеристик ПР при захвате груза и временную доступность отдельных зон рабочего пространства. Нижний уровень планирования оперативно реагирует на изменения и выполняет локальное перепланирование траектории движения ПР без необходимости полной перестройки глобального маршрута.

На рисунке 2 представлена схема предлагаемой двухуровневой архитектуры, иллюстрирующая распределение функций и взаимодействие между уровнями планирования.



Рис.2. Схема метода перенастройки мобильных компонентов РТК под изменяемые условия производственных процессов
Источник: составлено авторами

При достижении мобильным роботом зоны интеграции с ПЦ значительно меняется характер решаемых задач. ПР и ПЦ должны действовать как единый РТК, что требует более детальной пространственной, временной и программной согласованности. Особенности описываемого процесса интеграции:

1) обеспечение требований к точности позиционирования. Допустимая погрешность при пространственном совмещении ПР с рабочими органами и технологической оснасткой ПЦ должна составлять не более ± 2 мкм. Превышение этого показателя приводит к возникновению погрешности базирования спутника в рабочей области ПЦ, следствием появления которой может стать появление брака при обработке;

2) требование к синхронизации ПР с ПЦ. Время задержки реакции ПР на управляющие сигналы от ПЦ не должно превышать 200 мс. Это обеспечивает оперативность интеграции и согласованность действий робота с фазами технологического цикла ПЦ. ПР должен приостанавливать любые перемещения к рабочей зоне, если отсутствует сигнал готовности от ПЦ, во избежание коллизий и нарушения процесса;

3) требование к согласованию систем координат. Согласование координатных систем

ПР и ПЦ реализуется методом безмаркерной калибровки с точностью определения взаимного пространственного положения систем координат в пределах ± 3 мм [12]. Для этого используются гомогенные матрицы преобразования, вычисляемые на нижнем уровне планирования на основе данных технического зрения.

Для реализации указанных параметров в производственных условиях организуется стабильный двусторонний канал беспроводной передачи данных и управляющих сигналов между ПР и ПЦ. С программной стороны интеграция обеспечивается Robot Operating System (ROS), с разработкой специализированного пакета обработки сообщений и сигналов готовности.

Результаты исследования и их обсуждение

Для обеспечения интеграции мобильного ПР с ПЦ предлагается использовать детализированную воксельную модель локального пространства зоны интеграции. Каждый воксель такой модели характеризуется статусом «свободно», «занято» или «недоступно» и дополнительно снабжается временными метками, обозначающими динамическую доступность отдельных областей рабочего пространства ПЦ [13].

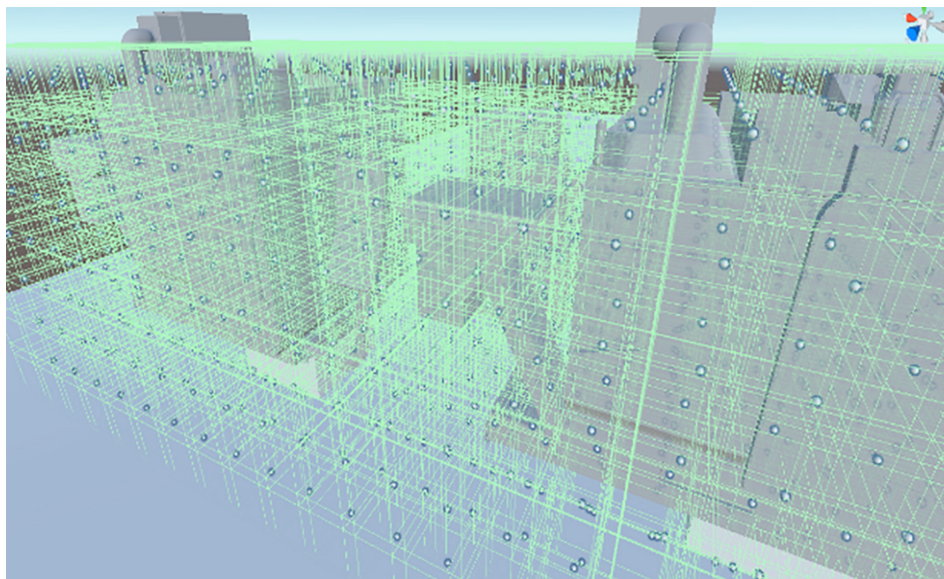


Рис.3. Формирование регулярной воксельной сетки на модели РТК
Источник: составлено на основе источника [13]

На рисунке 3 представлен процесс формирования регулярной воксельной сетки на модель РТК.

Когда ПР входит в зону интеграции, он загружает соответствующую воксельную карту, которая дополняется данными о временной доступности отдельных областей ПЦ. После выполнения процедуры безмаркерной калибровки и определения взаимного положения систем координат робота и ПЦ воксели, относящиеся к внутренней зоне ПЦ, переводятся в систему координат ПР. Под термином «внутренняя зона ПЦ» понимается рабочая зона станка. Затем ПР может выполнять технологические задачи в соответствии с производственным расписанием.

При захвате манипулятором ПР спутника изменяются закон распределения масс и внешние габариты системы «робот + груз», это оказывает влияние на кинематические и динамические характеристики ПР. Для предотвращения коллизий воксельную модель окружения адаптируют к текущим условиям, используя аппроксимирующий объем, учитывающий новый центр масс и измененные внешние габариты ПР. В зависимости от массы и габаритов спутника нижний уровень расширяет зоны запрещенных вокселей, то есть таких ячеек, которые временно становятся недоступными для любых частей ПР, во избежание столкновений с элементами ПЦ.

Оптимальная траектория перемещения мобильной платформы и манипулятора ПР в зоне интеграции определяется с помощью

адаптированного алгоритма поиска пути A^* . Для этого формируется специальная функция оценки стоимости пути, учитывающая геометрию пространства и динамические ограничения, обусловленные особенностями зоны интеграции [13]. Эта функция задается выражением:

$$f(n) = g(n) + \hat{h}(n) + w(n),$$

где $g(n)$ – накопленная стоимость пути до узла n с учетом метрических и временных затрат на перемещение робота по заданному маршруту;

$\hat{h}(n)$ – эвристическая оценка итоговой стоимости пути до целевого узла n , полученная с помощью обученной графовой нейросети. Используется вместо евклидовой метрики, классически применяемой в A^* для учета динамических ограничений и сложной геометрии;

$w(n)$ – дополнительная стоимость, отражающая недоступность узла n в момент предполагаемого прибытия робота.

Применение классического алгоритма A^* для задачи поиска оптимального пути в динамической среде зоны интеграции существенно увеличивает число необходимых перерасчетов и время выполнения алгоритма, что делает его недостаточно эффективным для задач реального времени. Использование графовой нейросети (рис. 4) позволяет значительно снизить количество таких пересчетов посредством прогнозирования стоимости пути и быстрого отбрасывания заведомо неперспективных вариантов траекторий [14–16].

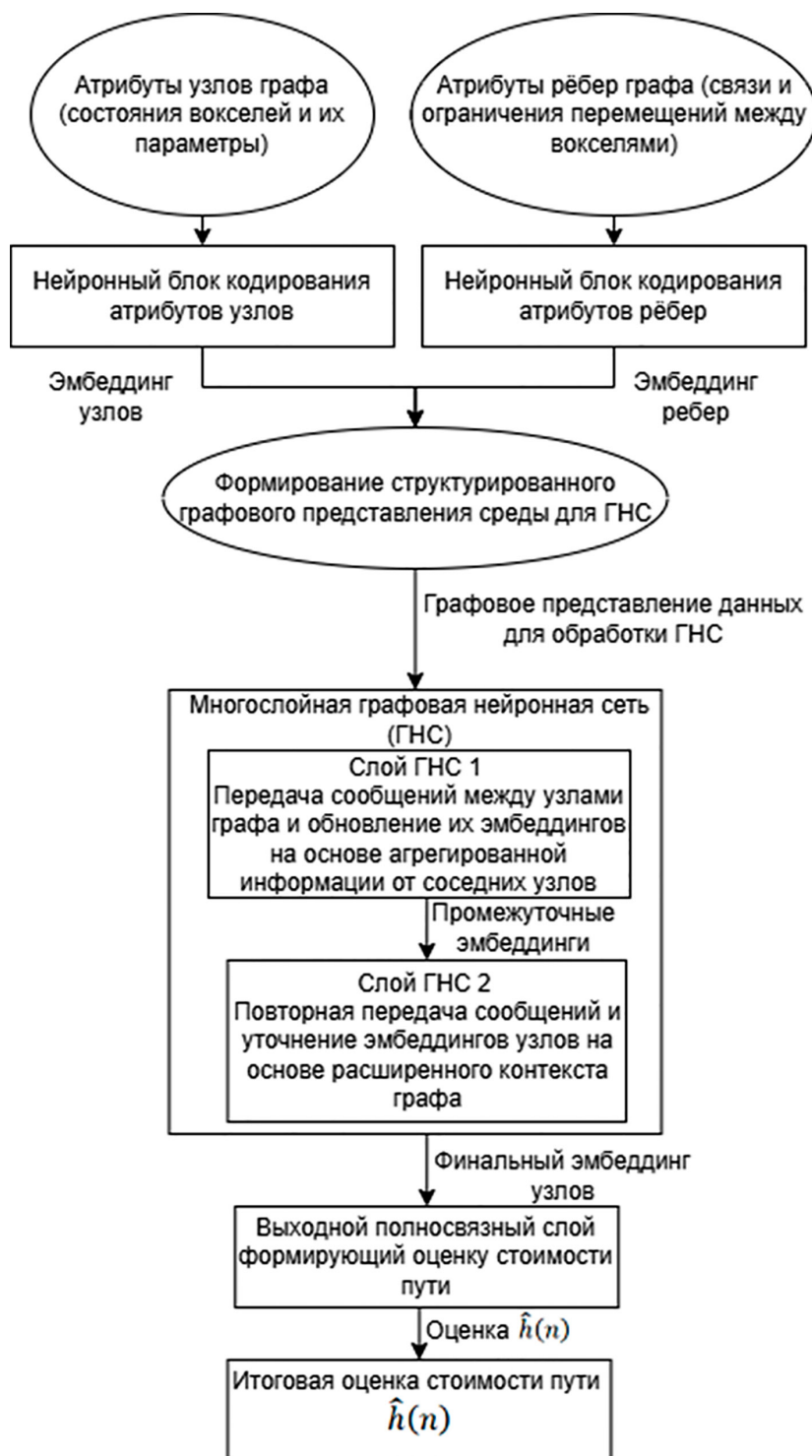


Рис. 4. Структурная схема графовой нейронной сети
Источник: составлено авторами на основе источника [16]

При изменении состояния локальной производственной среды (рабочего пространства ПР) отдельные воксели в модели рабочего пространства могут переходить из состояния «доступно» в состояние «недоступно», и наоборот. В случае появления

таких изменений ПР либо останавливается в безопасной зоне и ожидает восстановления доступности, если позволяет время, либо инициирует локальное перепланирование траектории для обхода вновь возникших препятствий. Если, напротив,

область пространства освобождается, алгоритм A* актуализирует стоимостную карту и корректирует маршрут ПР до точки интеграции с ПЦ. Для оптимизации вычислений применяется подход «замораживания», при котором участки ранее рассчитанного маршрута, не затронутые изменениями, остаются неизменными, а ресурсы планирования направляются исключительно на перепланирование проблемных фрагментов.

По завершении расчетов траектории на нижнем уровне формируются конкретные контрольные позиции, в которые мобильная платформа ПР должна перемещаться для интеграции с ПЦ. На основе того же подхода возможно рассчитывать промежуточные позиции манипулятора при установке спутника в рабочей зоне ПЦ. В случае появления новых препятствий или других изменений в окружении ПР итерационно

применяется механизм локального перепланирования, не требующий пересчета всего маршрута целиком.

В процессе интеграции ПР с ПЦ на верхнем уровне продолжает формироваться укрупненное производственное расписание, однако его состав несколько изменяется по сравнению с этапом перемещения ПР от склада к зоне интеграции с ПЦ. Система начинает рассматривать интегрированные компоненты ПР и ПЦ как единую сущность – РТК. У такого РТК появляется набор агрегированных состояний, отражающих текущий статус всех компонентов, входящих в его состав и позволяющих централизованно управлять их действиями.

На рисунке 5 представлена диаграмма состояний ресурса РТК, иллюстрирующая возможные состояния и переходы между ними, а также события, инициирующие эти переходы.

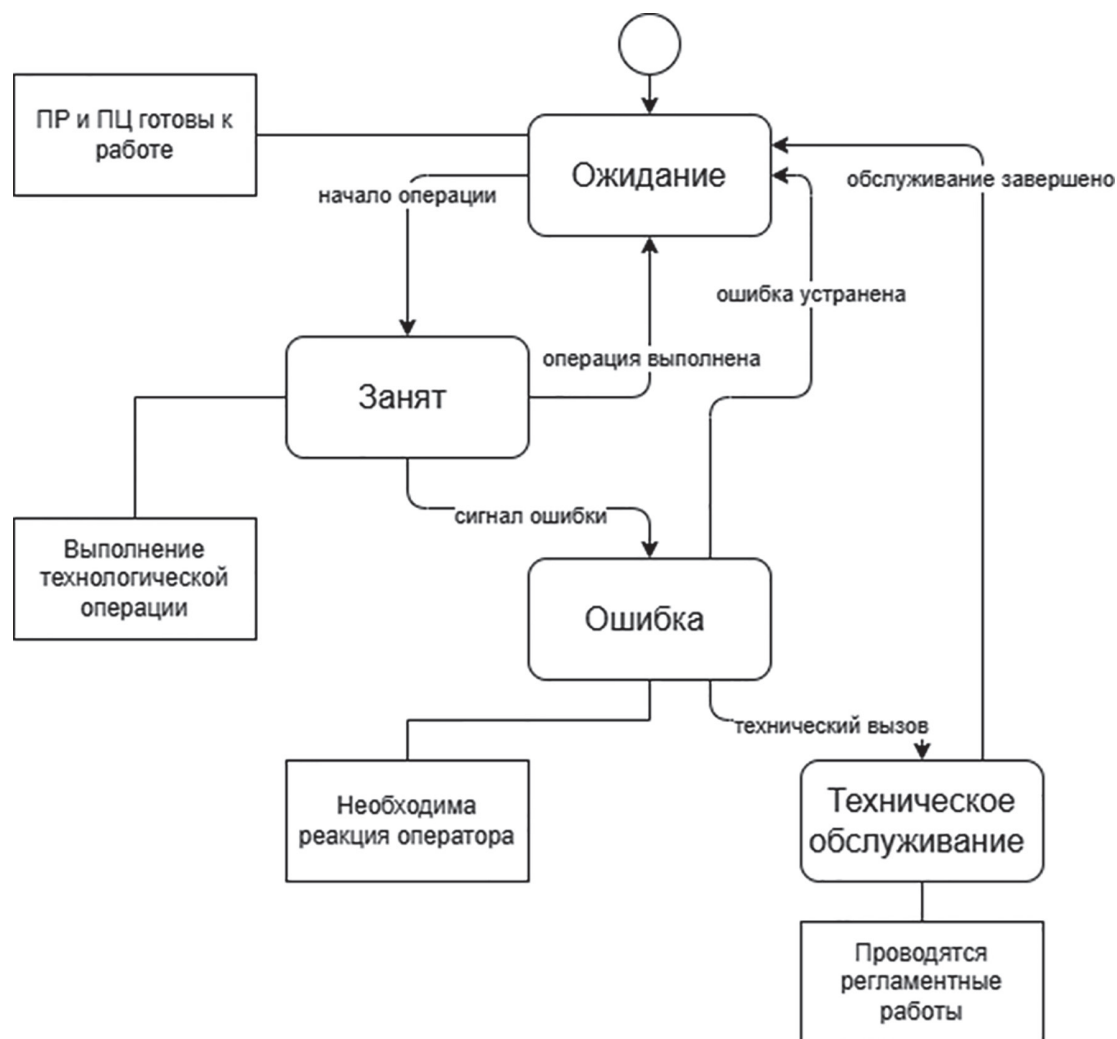


Рис. 5. Диаграмма состояний ресурса «РТК» (ПР + ПЦ)

Источник: составлено авторами

Сигнал «Ожидание» – ПР и ПЦ интегрированы и находятся в готовности для выполнения новой задачи.

Сигнал «Занят» – ПР и ПЦ в данный момент выполняют технологическую операцию.

Сигнал «Ошибка» – в одном из компонентов РТК возникла аварийная ситуация.

Сигнал «Техническое обслуживание» – осуществляется плановое или внеплановое техническое обслуживание ПР и/или ПЦ.

Сущность, программно отражающая РТК, реализована в виде специализированного класса, инкапсулирующего взаимодействие с отдельными интерфейсами ПР и ПЦ. Класс предоставляет обобщенные методы для изменения и контроля состояния, за счет чего верхний уровень планирования оперирует состоянием РТК, не вдаваясь в детали низкоуровневого управления (листинг 1).

```
class RobotToolComplex:
    def __init__(self, robot_interface, machine_interface):
        self.robot = robot_interface
        self.machine = machine_interface

        # Возможные состояния 'idle', 'busy', 'error', 'maintenance'
        self._state = 'idle'
        self._last_error = None

    def set_busy(self):
        """ Устанавливает состояние РТК как 'busy', означающее, что комплекс занят
        технологической операцией """
        self._state = 'busy'

    def set_free(self):
        """ Устанавливает состояние РТК в 'idle', сигнализируя, что робот и станок
        готовы к новой задаче """
        self._state = 'idle'
        self._last_error = None

    def set_error(self, error_msg):
        """ Переводит РТК в состояние 'error', указывая причину ошибки """
        self._state = 'error'
        self._last_error = error_msg

    def is_busy(self):
        return self._state == 'busy'

    def is_free(self):
        return self._state == 'idle'

    def is_error(self):
        return self._state == 'error'

    def get_state(self):
        # Возвращает текущий статус 'РТК'
        return self._state

    def get_error(self):
        return self._last_error

    def perform_operation(self, operation_id):
        if self._state in ('idle', 'busy'):
            # Оповещаем робота и станок о запуске операции
            self.set_busy()
            # Пример вызова каких-то методов интерфейсов
            success = self.machine.start_operation(operation_id)
            if not success:
                self.set_error(f"Operation {operation_id} failed to start on machine.")
                return False

            # Логика ожидания завершения:
            self.set_free()
            return True
        else:
            # Если 'error' или иное, игнорируем операцию
            return False

    def __repr__(self):
        return f"<RobotToolComplex state={self._state}, error={self._last_error}>"
```

Листинг 1. Реализация класса РТК на языке Python

После успешного завершения процесса интеграции ПР с ПЦ на верхнем уровне фиксируется факт завершения интеграции и происходит переключение логического ресурса РТК в состояние «занят». РТК переходит к выполнению технологических операций в соответствии со сменным заданием. В рамках этого этапа основная задача ПР заключается в загрузке/выгрузке спутников в рабочую зону ПЦ, а также в обработке сигналов готовности и состояний безопасности от производственного оборудования. Когда спутник установлен в заданной точке рабочей области и ПЦ подтверждает состояние «готов к работе», начинается выполнение технологической программы обработки деталей.

В таком состоянии ПР закреплен за ПЦ, не покидает зону интеграции и остается закрепленным за текущей технологической задачей до ее окончания или до получения сигнала о необходимости изменения состояния. При возникновении нештатных ситуаций или изменении производственного расписания верхний уровень планирования способен досрочно разорвать интеграцию ПР и ПЦ, высвободив компоненты для решения других задач и интеграции с другими ПЦ.

После завершения технологического цикла обработки и штатного окончания выполнения производственной задачи выпол-

няется плановая разинтеграция РТК на отдельные компоненты ПР и ПЦ. При этом ПЦ становится доступен для интеграции с другим мобильным роботом, а ПР получает возможность выполнять новые задачи: перемещение к другому производственному центру, возврат на склад для загрузки новых спутников и пр. На нижнем уровне планирования разинтеграция реализуется завершением задач пространственного совмещения и стыковки ПР с ПЦ.

Для оценки эффективности разработанного метода были проведены виртуальные испытания предлагаемой системы двухуровневого планирования, целью которых стало сравнение предложенного адаптированного алгоритма A* с нейросетевой эвристикой и классического алгоритма A* в условиях динамически изменяющейся среды зоны интеграции ПР с ПЦ.

Для реализации и тестирования предлагаемой двухуровневой системы планирования был разработан комплекс программ на языке Python, представляющих собой двухуровневую систему и среды моделирования Unity. На верхнем уровне формировался план производственных операций, описанный в формате JSON-файла (листинг 2). Файл содержит последовательность задач с указанием используемых ресурсов, продолжительности операций, а также запрос на интеграцию компонентов РТК.

```
{
  «nodes»: [
    {
      «id»: «...»,
      «name»: «Загрузка спутника А»,
      «duration»: 5.0,
      «resources»: [«Robot1», «BufferA»],
      «reconfiguration_needed»: false
    },
    {
      «id»: «...»,
      «name»: «Перемещение к ПЦ 1»,
      «duration»: 3.0,
      «resources»: [«Robot1»],
      «reconfiguration_needed»: true
    },
    {
      «id»: «...»,
      «name»: «Обработка на ПЦ 1»,
      «duration»: 10.0,
      «resources»: [«Machine1»],
      «reconfiguration_needed»: false
    }
  ]
}
```

Листинг 2. План производственных операций в формате JSON

Таблица 1

Результаты экспериментов по сравнению алгоритмов планирования

№ сценария	Используемый алгоритм	Среднее время перепланирования, сек	Количество перепланирований	Общая длина траектории, м
1	Классический А*	0,05	0	15,2
1	Адаптированный А* с нейросетью	0,06	0	15,1
2	Классический А*	1,10	5	18,4
2	Адаптированный А* с нейросетью	0,35	2	16,7
3	Классический А*	2,30	12	23,5
3	Адаптированный А* с нейросетью	0,72	5	18,9

Примечание: составлено авторами по результатам проведенных экспериментов.

На нижнем уровне производились загрузка задач в указанном формате и генерация траекторий с учетом воксельной модели рабочего пространства, состоящей из 18 000 000 вокселей. Каждый воксель может находиться в состояниях «свободно», «занято» и «недоступно» и динамически обновлять свое состояние в ходе моделирования. Для оценки динамических аспектов были сформированы три сценария с разными уровнями сложности изменений:

1) статичная среда – состояние среды не изменяется после начала движения ПР;

2) динамичная среда – состояние доступности 10% вокселей периодически меняется в процессе перемещения робота;

3) высокودинамичная среда – частые случайные изменения состояния 25% вокселей среды в процессе движения робота.

Эксперименты проводили по пять повторов для каждого сценария, а результаты усредняли. Основными показателями для оценки выбраны:

– среднее время перепланирования траектории (сек);

– количество выполненных перепланирований;

– общая длина пройденной траектории (м).

Результаты вычислительных экспериментов, проведенных на базе лаборатории «Умные производственные системы» РТУ МИРЭА, приведены в таблице 1.

Анализ полученных результатов позволил вывести следующие закономерности:

– в статичном сценарии оба алгоритма показали сопоставимые по значениям показатели времени перепланирования и длины маршрута перемещения мобильного ПР, что объясняется отсутствием необходимости пересчета пути после первоначального построения траектории. Незначительные

расхождения результатов вызваны особенностями эвристик и алгоритмов оценки стоимости пути;

– с ростом динамичности производственной среды преимущество предложенного метода с нейросетевой эвристикой становится очевидным. В сценарии средней динамики предложенный подход позволил сократить среднее время перепланирования на 68% (с 1,10 до 0,35 сек), а число перепланирований снизилось в 2,5 раза (с 5 до 2). При этом длина итогового маршрута уменьшилась на 9,2% (с 18,4 до 16,7 м). Наиболее значительные результаты достигнуты в сценарии с высокой динамикой, где применение нейросетевой эвристики снизило среднее время перепланирования на 68,7% (с 2,30 до 0,72 сек), количество перепланирований сократилось в 2,4 раза (с 12 до 5), а суммарная длина траектории уменьшилась на 19,6% (с 23,5 до 18,9 м).

Сокращение количества перепланирований и снижение общей длины маршрута достигаются за счет прогноза итоговой стоимости пути графовой нейросетью. Это позволяет алгоритму быстрее отсекаать заведомо неоптимальные траектории и минимизировать количество пересчетов.

Заключение

Полученные в ходе проведения эксперимента результаты подтверждают эффективность предлагаемого метода двухуровневого планирования и его значительное преимущество перед классическим подходом. Сокращение времени перепланирования и числа необходимых пересчетов существенно повышает оперативность переналадки и точность позиционирования ПР в зоне интеграции с ПЦ, тем самым подтверждая актуальность и целесообразность использования разработанного подхода

к построению РТК в условиях современного многономенклатурного мелкосерийного производства.

Список литературы

1. Can Pu., Chuanyu Yang., Jinnian Pu., Robert B. Fisher. A General Mobile Manipulator Automation Framework for Flexible Manufacturing in Hostile Industrial Environments // arXiv preprint arXiv:2302.04486. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2302.04486.
2. Баланев Н.В., Янов Р.А. Анализ факторов, влияющих на точность позиционирования промышленного робота и методы обеспечения заданной точности // Достижения науки и образования. 2016. №1 (2). URL: <https://scienceproblems.ru/analiz-faktorov-vlijajushchih-na-tochnost.html> (дата обращения: 11.02.2025).
3. Сазонникова Н.А., Илюхин В.Н., Сурудин С.В., Мезенцев Д.А. Повышение точности перемещений промышленного робота в процессе инкрементального формообразования // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2024. Т. 23. № 2. С. 143–156. DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-2-143-156.
4. Inoue S., Urata A., Kodama T., Huwer T., Maruyama Y., Fujita S., Shinno H., Yoshioka H. High-Precision Mobile Robotic Manipulator for Reconfigurable Manufacturing Systems // International Journal of Automation Technology. 2021. Vol. 15. № 5. P. 651–660. DOI: 10.20965/ijat.2021.p0651.
5. Valero F., Diaz-Rodriguez M., Valles M., Besa A., Bernabeu E., Valera A. Reconfiguration of a Parallel Kinematic Manipulator with 2T2R Motions for Avoiding Singularities through Minimizing Actuator Forces // arXiv preprint arXiv:2401.08191. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2401.08191.
6. Becker M., Caspers P., Hattendorf T., Lilje T., Haddadin S., Müller M.A. Informed Circular Fields for Global Reactive Obstacle Avoidance of Robotic Manipulators // arXiv preprint arXiv:2212.05815. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2212.05815.
7. Engemann H., Du S., Kallweit S., Cönen P., Dawar H. OMNIVIL—An Autonomous Mobile Manipulator for Flexible Production // Sensors. 2020. Vol. 20. № 24. Article 7249. DOI: 10.3390/s20247249.
8. Feng S., Liu Y., Pressgrove I., Ben-Tzvi P. Autonomous Alignment and Docking Control for a Self-Reconfigurable Modular Mobile Robotic System // Robotics. 2024. Vol. 13. № 5. Article 81. DOI: 10.3390/robotics13050081.
9. Jeong I., Jang Y., Park J., Cho Y. Motion Planning of Mobile Robots for Autonomous Navigation on Uneven Ground Surfaces // Journal of Computing in Civil Engineering. 2021. Vol. 35. № 3. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000963.
10. Liu Y., Wang S., Xie Y., Xiong T., Wu M. A Review of Sensing Technologies for Indoor Autonomous Mobile Robots // Sensors. 2024. Vol. 24. № 4. Article 1222. DOI: 10.3390/s24041222.
11. Pankert J., Valsecchi G., Baret D., Zehnder J., Pietrasik L.L., Bjelonic M., Hutter M. Design and Motion Planning for a Reconfigurable Robotic Base // arXiv preprint arXiv:2206.15298. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2206.15298.
12. Холопов В.А., Макаров М.А., Благовещенский И.Г. Метод согласования систем координат компонентов в РТК на основе машинного зрения // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2024. № 4 (36). С. 26–36. DOI: 10.25729/ESI.2024.36.4.003.
13. Холопов В.А., Макаров М.А., Кладов А.С. Метод определения траектории робота-манипулятора в роботизированных технологических комплексах с учетом временных ограничений // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 12. С. 113–121. DOI: 10.17513/snt.40251. EDN XTHXLP.
14. Tan J., Luo Y., Li J., Ma H. Benchmarking Large Neighborhood Search for Multi-Agent Path Finding // arXiv preprint arXiv:2407.09451v1. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2407.09451.
15. Cordonnier J.-B., Loukas A. Extrapolating Paths with Graph Neural Networks // arXiv preprint arXiv:1903.07518v1. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1903.07518.
16. Michel G., Nikolettos G., Lutzeyer J., Vazirgis M. Path Neural Networks: Expressive and Accurate Graph Neural Networks // arXiv preprint arXiv:2306.05955v1. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2306.05955.

УДК 004.9:621.8
DOI 10.17513/snt.40395

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ «ВИРТУАЛЬНЫЙ РЕЛЬС» В ПЕРЕГРУЗОЧНОМ ПОРТОВОМ КОМПЛЕКСЕ

Чжуан С., Шаветов С.В., Лу Ц.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»,
Санкт-Петербург, e-mail: mge_aumsu@mail.ru

В настоящее время организация технологии «виртуальный рельс» в перегрузочном портовом комплексе представляется одной из актуальных задач в области управления логистическими процессами. Целью исследования является использование геоинформационной технологической системы «виртуальный рельс» в автономном технологическом процессе перевалки контейнеров с учетом класса груза, массы и особых условий перевозки. Данный метод может повысить эффективность процессов, таких как разгрузка и погрузка контейнеров, управление ресурсами, что, в свою очередь, способно привести к снижению затрат и времени обслуживания. В статье рассмотрены методы повышения точности в управлении технологическими комплексами «виртуальный рельс». Существующие технологические методы высокоточного позиционирования требуют определения разностных частот от четырех спутников. В работе предложено использовать корректирующие сигналы станции для счисления ошибки определения координат транспортного средства. Учитывая, что транспортное средство в условиях контейнерного терминала движется в одной плоскости, вычисление погрешности определения координат по одной из осей может быть произведено как определение базовой поправки в момент времени определения отклонения от опорной частоты сигнала спутника. Учет этой погрешности позволяет увеличить точность определения координат при организации технологического комплекса «виртуальный рельс» в порту, что способствует более эффективному управлению процессами и ресурсами.

Ключевые слова: виртуальный рельс, управление, территориально распределенный объект, автоматизация процессов, геоинформационная система

ORGANIZATION OF THE «VIRTUAL RAIL» TECHNOLOGY IN THE TRANSHIPMENT PORT COMPLEX

Zhuang Xintong, Shavetov S.V., Lu Jiangwen

National Research University ITMO, St. Petersburg, e-mail: mge_aumsu@mail.ru

Currently, the organization of the «virtual rail» technology in the transshipment port complex is one of the urgent tasks in the field of effectively organize the management of logistics processes. The purpose of the study is to use the geoinformation technological system «virtual rail» for the autonomous technological process of container transshipment, taking into account the cargo class, weight and special transportation conditions. This method can increase the efficiency of processes such as unloading and loading containers, resource management, which in turn can lead to reduced costs and maintenance time. The article discusses methods for improving accuracy in controlling technological complexes «virtual rail». Existing technological methods of high-precision positioning require the determination of differential frequencies from four satellites. It is proposed to use station correcting signals for calculation of vehicle coordinates determination error. Considering that the vehicle is moving in the same plane in the container terminal environment, the calculation of the coordinate error in one of the axes can be calculated as the determination of the base correction at the time of determining the deviation from the reference frequency of the satellite signal. Taking into account this error allows to increase the accuracy of determining the coordinates when organizing the technological complex «virtual rail» in the port, which allows for more efficient management of processes and resources.

Keywords: virtual rail, management, geographically distributed object, automation of processes, geographic information system

Введение

В статье рассматривается технология «виртуальный рельс» как перспективное направление организации логистических работ. Данная технология представляет собой цифровую платформу, позволяющую синхронизировать действия всех участников логистической цепи (грузоотправителей, операторов, транспортных компаний). Представленная технология способствует улучшению координации между участниками логистической цепи, обеспечивая более быструю и точную обработку грузов. Это позволяет сократить время простоя и повысить общую эффективность работы порта.

Автоматизация процессов в перегрузочных портовых комплексах с использованием автоматизированных систем управления, таких как автоматические краны и транспортные средства, имеет несколько ключевых преимуществ и особенностей:

- снижение риска возникновения аварий;
- мониторинг текущего состояния;
- сбор данных.

Для решения задач управления логистическими процессами существует множество методов и подходов. Например, метод мультиагентной оптимизации является эффективным инструментом для решения сложных задач, таких как автоматизация

распределения задач в порту. Этот метод основывается на использовании множества агентов, каждый из которых может принимать решения и взаимодействовать с другими агентами для достижения общей цели. В своей работе Д.А. Ромашенко [1] детально исследует создание современных систем реализации интеллектуального управления перегрузочными процессами в перегрузочных портовых комплексах. Авторами Чжоу Ицин, Ван Лу, Юань Цзиньхун, Ши Цзинлинь [2] рассмотрено «автономное вождение с виртуальными рельсами» для повышения безопасности и эффективности, которые определяются как траектории движения, и стратегии управления транспортными средствами. Транспортные средства можно отслеживать и контролировать на виртуальной железной дороге в режиме реального времени через сотовую сеть.

В данной работе представлено применение в перегрузочном портовом комплексе технологии «виртуальный рельс», которая предоставляет значительные преимущества для управления процессами перевалки контейнеров, обеспечивая более высокую эффективность и безопасность в логистике. **Целью данного исследования** является использование геоинформационной технологической системы «виртуальный рельс» для автономного технологического процесса перевалки контейнеров с учетом класса груза, массы и особых условий перевозки.

Авторами предложено применять контрольно-корректирующие станции, выдающие дифференциально-фазовые поправки в системе навигации автономных средств, составляющих автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) портовых перегрузочных комплексов.

Материалы и методы исследования

Технология «виртуальный рельс» в перегрузочных портовых комплексах подразумевает использование цифровых технологий и средств автоматизации для оптимизации процессов грузоперевозок и управления логистикой [3]. Рассмотрим ключевые аспекты этой технологии, представленные на рисунке 1.

Для реализации такой системы требуется интеграция различных технологий, включая трекеры GPS, лазерные датчики измерения расстояния (лидары) [4], программное обеспечение для обработки данных и реализации пользовательских интерфейсов [5].

Классическая технология динамического высокоточного позиционирования включает наблюдение не менее 4 спутников (рис. 2), с вычислением разностной частоты [6, 7]. За счет вычисления разности определяются позиции транспортных средств. Однако, если такое условие наблюдения не выполняется, то вычисленное положение окажется со значительной ошибкой.



Рис. 1. Структура основных показателей технологии «виртуальный рельс»

Источник: составлено авторами

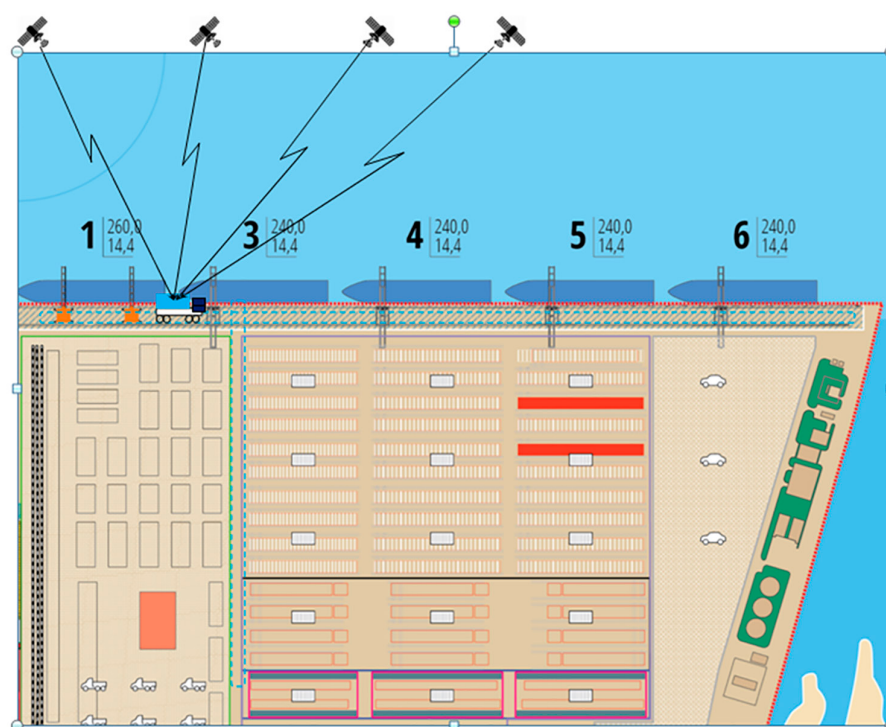


Рис. 2. Формирование технологического комплекса «виртуальный рельс» при видимости 4 спутников
Источник: составлено авторами

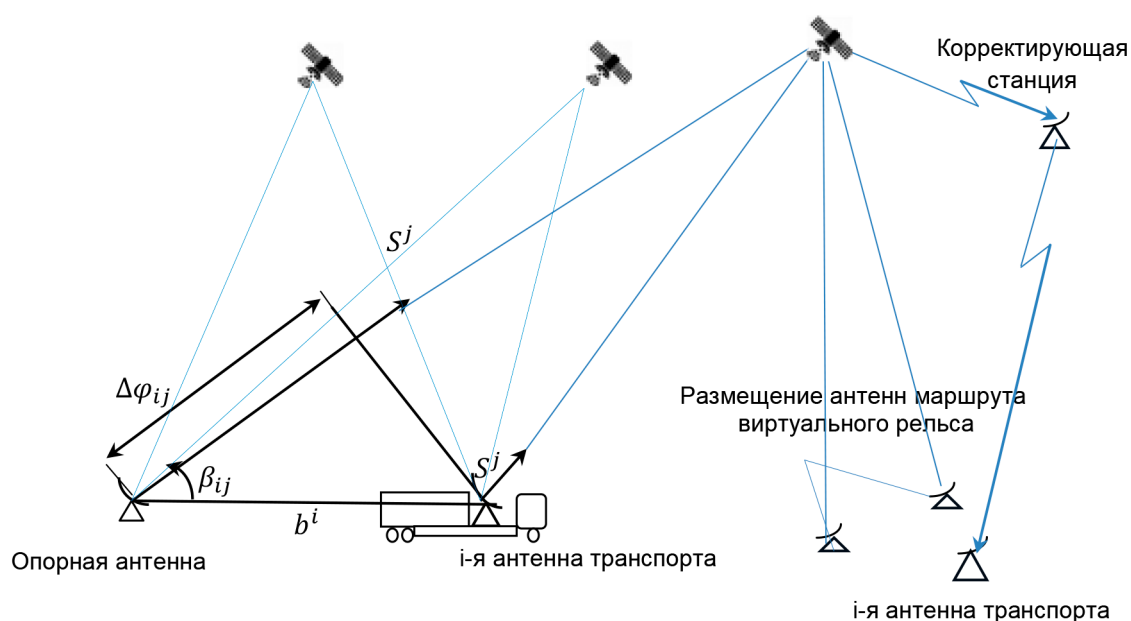


Рис. 3. Формирование технологического комплекса «виртуальный рельс» с корректирующей станцией
Источник: составлено авторами на основе источников [7, 8]

С целью компенсации погрешностей определения значения разностных частот, принимаемых со спутника, целесообразно использовать специализированные коррек-

тирующие станции, в этом случае схема технологического комплекса типа «виртуальный рельс» будет иметь вид, представленный на рисунке 3.

Измерение псевдодалности происходит как измерение разности координат [9]:

$$D_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2} + c\Delta t_n + \varepsilon_{D_i}, \quad (1)$$

где в выражении (1) X, Y, Z – текущие координаты транспортного средства, X_i, Y_i, Z_i – значения координат спутника, c – скорость света; Δt_n – погрешность определения частоты (называемая погрешностью времени), ε_{D_i} – систематическая погрешность определения координат транспортного средства, к которой относят всевозможные виды погрешностей, допускающие их систематизацию и учет.

Вопрос точного позиционирования лежит в области определения погрешности

частоты сигналов, передаваемых со спутника. Условие наблюдения 4 спутников связано с необходимостью учета погрешности времени. При различных методах определения достигается точность около 20 см. Однако при его использовании требуется учет неоднозначности измерений [10].

При использовании фазового метода наилучшие результаты удается получить с использованием доплеровского метода. Для этого необходимо определить измерение производной координат по частоте:

$$\frac{dD(f)}{df} = \frac{(X - X_i) \cdot \left(\frac{dX(f)}{df} - \frac{dX_i(f)}{df} \right) + (Y - Y_i) \cdot \left(\frac{dY(f)}{df} - \frac{dY_i(f)}{df} \right) + (Z - Z_i) \cdot \left(\frac{dZ(f)}{df} - \frac{dZ_i(f)}{df} \right)}{D_i} + \Delta f \varepsilon_{D_i}, \quad (2)$$

где $\frac{dX(f)}{df} - \frac{dX_i(f)}{df}$ – изменение центра приемной антенны по координате X ,

$\frac{dY(f)}{df} - \frac{dY_i(f)}{df}$ – изменение центра приемной антенны по координате Y ,

$\frac{dZ(f)}{df} - \frac{dZ_i(f)}{df}$ – изменение центра приемной антенны по координате Z .

Обычно контейнерные площадки не имеют уклонов и расположены в одном уровне [11]. Поэтому сигнал счисления фазового центра антенны по координате Y можно считать опорным. Условия распространения радиоволн, вызванные состоянием атмосферы, не изменяются мгновенно, поэтому погрешности, вызванные изменением частоты по каналу измерения координаты Y , можно считать опорными [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Построение технологического комплекса типа «виртуальный рельс» с использованием корректирующей станции позволяет записать погрешность определения фазы следующим образом [13]:

$$\Delta \varphi_{ij} = |b^i| \cdot \cos \beta_{ij} + \varepsilon_{ij} - \lambda n_{ij}, \quad (3)$$

при условии изменения базы измерений b^i – фактическое расстояние между двумя антеннами, одну из которых принимаем

основной (называемой опорной), вторую антенну считаем ведомой (размещенной на транспортном средстве). В (3) фазовым центром считаем геометрический центр антенн, β_{ij} – углы фокуса антенн и направления их на спутник; ε_{ij} – обобщенная погрешность фазовых измерений частоты, λ – длина волны принимаемого сигнала; n_{ij} – целое число разности фаз частот (необходимо определять в целое число периодов).

Учитывая, что меняется угловое положение спутника, точность определения положения транспортного средства в связанной системе координат относительно положения спутника можно определить как вращения базового вектора положения фазового центра антенн, находящегося на транспортном средстве. Однако необходим учет поправок во времени, согласно (2), учитывающих фактическое изменение координат фазового центра антенны транспортного средства.

С этой целью учет фазового центра антенны в форме кватернионов примет вид:

$$A = \begin{vmatrix} 2q_0^2 - 1 + 2q_1^2 & 2q_1q_2 + 2q_0q_3 & 2q_1q_3 - 2q_0q_2 \\ 2q_1q_2 - 2q_0q_3 & 2q_0^2 - 1 + 2q_2^2 & 2q_2^2 + 2q_0q_1 \\ 2q_1q_3 + 2q_0q_2 & 2q_2^2 - 2q_0q_1 & 2q_0^2 - 1 + 2q_3^2 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где q_0, q_1, q_2, q_3 – значения фазового вектора (в кватернионах), указывающие на положение транспортного средства, привязанного к фазовому центру расположенной на нем антенны.

$$b = \frac{\Delta\rho}{\theta} = \begin{vmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{vmatrix}, \quad \text{а } \Delta q = \begin{vmatrix} \cos(\theta/2) \\ b_1 \cos(\theta/2) \\ b_2 \cos(\theta/2) \\ b_3 \cos(\theta/2) \end{vmatrix}, \quad (5)$$

определение координат вектора через сопряженный кватернион: $q_i = \Delta q \times q_{i-1} \times \Delta q^*$, где Δq^* – сопряженный кватернион.

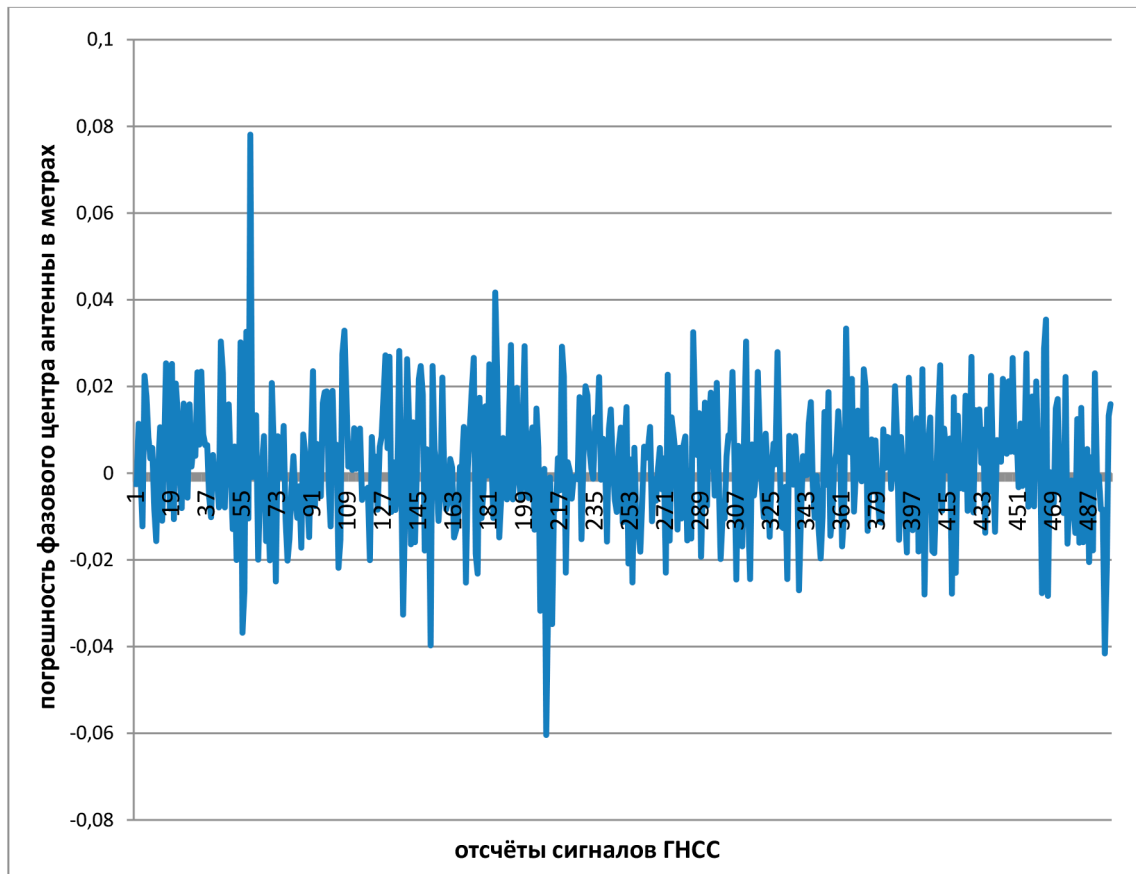


Рис. 4. Вычисление погрешностей определения фазового центра антенны, размещенной на транспортном средстве, по технологической схеме «виртуальный рельс»

Окончательно положение центра антенны, размещенной на транспортном средстве r , определяемом как изменение центра приемной антенны по координате Y (фактически изменение углового положения спутника вокруг оси вращения) Or , на угол φ :

$$r = \cos\varphi + (i\alpha + j\beta + k\gamma)\sin\varphi. \quad (6)$$

Учитывая поворот вектора на угол 2φ позиции фазового центра антенны, связанной с местом размещения на транспортном средстве, окончательный алгоритм можно представить как:

$$S_i = Ab^i + v_i, \quad (7)$$

где v_i – ошибки вычисления вектора S_i , $i = 1 \dots 3$.

Многие контейнеры оснащаются трекерами отслеживания местоположения. С учетом размещения антенн «виртуального рельса» на местности в пределах контейнерного терминала определение маршрута автономного транспортного средства в пределах терминала происходит при совмещении метки размещения контейнера и транспортного средства (рис. 4).

Учитывая тот факт, что изменение (дрейф) характеристик происходит во всей системе определения положения системы «виртуальный рельс», учет производится по ошибке реального масштаба времени [13, 14].

Например, погрешность времени для сигналов GPS и BeiDou на трехчасовом периоде наблюдений составляет величины 0,53 нс и 0,64 нс. При определении позиции транспортного средства в пределах контейнерного терминала это незначительно скажется на точности вычисления позиций контейнеров и транспорта [15, 16].

Заключение

Предложенный подход интересен в отношении точности в управлении технологическими комплексами типа «виртуальный рельс». Данное решение «виртуальный рельс» позволяет определить позицию транспортного средства в пределах контейнерного терминала, что способствует более эффективному управлению процессами и ресурсами.

Список литературы

1. Ромащенко Д.А. Реализация интеллектуального агента для одной задачи оптимизации процесса грузоперевозок // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1. №. 2. С. 134-140. URL: <http://vestnik-nauki.ru/2015-%D1%82-1-%E2%84%962-2015-v-1-%E2%84%962/> (дата обращения: 15.03.2025).
2. Чжоу Ицин, Ван Лу, Юань Цзиньхун, Ши Цзинлинь. Система автоматического вождения на основе сенсорного и вычислительного объединения – беспроводная виртуальная направляющая. Издательство ScienceChina, 2023. Т. 53. Вып. 6. С. 1050. DOI: 10.1360/SSI-2022-0259.
3. Прохоренков А.М. Оптимизация режимов работы грузовых терминалов морских портов (на примере Мурман-

ского транспортного узла) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2016. №. 1. С. 103-114. URL: <https://vestnik.astu.org/ru/nauka/article/31426/view> (дата обращения: 15.03.2025).

4. Мордасов М.М., Савенков А.П., Сафонова М.Э., Сычев В.А. Бесконтактное триангуляционное измерение расстояния до зеркальных поверхностей // Автоматрия. 2018. Т. 54. № 1. С. 80-88. DOI: 10.15372/AUT20180111.

5. Бурялин Я.В., Попов А.Н. Методика оценки информационной среды на основе модифицированного реально-виртуального континуума // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 2-1. С. 173-180. DOI: 10.37220/MIT.2024.64.2.020.

6. Кузиков С.И. Методические задачи и проблемы точности GPS-наблюдений (на примере Бишкекского геодезического полигона) // Физика Земли. 2014. № 6. С. 55-55. DOI: 10.7868/S0002333714060039.

7. Данцевич И.М., Халеева Е.П., Лютикова М.Н., Данцевич А.И. Определение параметров движения центра масс беспилотного судна с использованием функционального дополнения дифференциально-фазовых корректирующих станций ГЛОНАСС // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 4-1. С. 206-213. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.024.

8. Бобцов А.А., Посель Д., Пыркин А.А., Фрадков А.Л., Шаветов С.В. 18-я Европейская конференция по управлению ECC 2020: Первая виртуальная // Автоматика и телемеханика. 2021. № 4. С. 161-168. DOI: 10.31857/S0005231021040073.

9. Вовасов В.Е., Герко С.А. Комплексирование радиотехнических систем управления с другими информационными датчиками: учебное пособие для вузов. 2020. 242 с. URL: https://www.techbook.ru/book.php?id_book=1119 (дата обращения: 17.03.2025).

10. Гарин Е.Н., Копылов В.А., Ратушняк В.Н., Лютиков И.В. Современное развитие ГНСС ГЛОНАСС и GPS // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2018. Т. 11. №. 3. С. 313-317. URL: <https://elibrary.sfu-kras.ru/handle/2311/71323> (дата обращения: 15.03.2025).

11. Гладких Т.Д. Модель надежности автоматизированной системы управления технологическим процессом // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 2. С. 30-35. DOI: 10.17513/snt.39520.

12. Резвых В.А., Горбачев А.Ю. Значимость технологий виртуальной и дополненной реальности в машиностроении // Тенденции развития науки и образования. Учредители: ИП Иванов Владислав Вячеславович. 2021. С. 16-19. DOI: 10.18411/trnio-11-2021-49.

13. Зиферт Д.С., Студеникин Д.Е., Филатова Р.Г. Определение состояния судна на волнении с помощью МЭМС // Эксплуатация морского транспорта. 2014. № 1. С. 157-164. DOI: 10.34046/aumsuomtl10/24.

14. Григорьев Г.И. Акустико-гравитационные волны в атмосфере Земли (обзор) // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 1999. Т. 42. № 1. С. 3-24. DOI: 10.1007/BF02677636.

15. Игнатьев В.К., Игнатьев В.К., Никитин А.В., Бернардо-Сапрыкин В.Х., Орлов А.А. Измерение разности фаз квазогармонических сигналов в реальном времени // Машиностроение и компьютерные технологии. 2013. № 07. С. 241-256. URL: <https://num-meth.ru/index.php/journal/article/view/653> (дата обращения: 15.03.2025).

16. Бобцов А.А., Посель Д., Пыркин А.А., Фрадков А.Л., Шаветов С.В. 18-я Европейская конференция по управлению ECC 2020: Первая виртуальная // Автоматика и телемеханика. 2021. № 4. С. 161-168. DOI: 10.31857/S0005231021040073.

УДК 004.02:004.932.2:004.5
DOI 10.17513/snt.40396

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕДОПУСТИМЫХ ДВИЖЕНИЙ В ВИДЕОПОТОКЕ

Шустова Е.П.

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань,
e-mail: evgeniyashustova@yandex.ru

Предложен алгоритм определения недопустимых движений в видеопотоке, который позволяет гибко настраивать чувствительность обнаружения недопустимых движений; обеспечивает устойчивость к шуму; указывает место в кадре, где произошло обнаружение нетипичного движения; не тратит время на определение фона и траекторий движения объектов; анализ не тормозит видеопоток при его обработке в Wolfram Mathematica и Python. Предложенный алгоритм обнаруживает недопустимые движения не более чем за 0,02 с, а допустимые – в сотни раз быстрее. То есть пользователь системы видит результаты анализа без задержек и зависаний. В работе логика предложенного алгоритма представлена на диаграмме деятельности. В качестве примеров программирования ключевых моментов предложенного алгоритма приведены коды программы в системе Wolfram Mathematica 11, в которых реализованы предложенные в работе приемы реализации этих моментов. При разработке алгоритма анализа движения учтены характеристики имеющихся в настоящее время камер, предназначенных для использования на улице и в помещениях, реализующихся в продаже в настоящее время. Указаны параметры видеопотоков прикладных задач, которые могут быть решены с помощью предложенного алгоритма анализа, и соответствующие рекомендуемые камеры. Этот список показывает, какие именно камеры лучше использовать для задач по обнаружению движений в видеопотоке с указанными параметрами. Предложенный алгоритм может быть использован в системах управления беспилотным транспортом и мониторинге охраняемых объектов (со стационарной или подвижной камеры), где важно своевременно фиксировать недопустимое движение в строго определенных зонах.

Ключевые слова: недопустимое движение, видеоанализ, диаграмма деятельности, параметры видеопотоков, графические примитивы, Wolfram Mathematica

ALGORITHM FOR DETECTING UNACCEPTABLE MOVEMENTS IN A VIDEO STREAM

Shustova E.P.

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, e-mail: evgeniyashustova@yandex.ru

An algorithm for detecting unacceptable movements in a video stream is proposed, which allows flexible adjustment of the sensitivity of detecting unacceptable movements; ensures resistance to noise; indicates the location in the frame where an atypical movement was detected; does not waste time determining the background and trajectories of objects; the analysis does not slow down the video stream when it is processed in Wolfram Mathematica and Python. The proposed algorithm detects inadmissible movements in no more than 0.02 sec., and acceptable ones hundreds of times faster. That is, the user of the system sees the analysis results without delays and freezes. In the paper, the logic of the proposed algorithm is presented on a activity diagram. As examples of programming the key points of the proposed algorithm, the program codes in the Wolfram Mathematica 11 system are given, in which the methods for implementing these points proposed in the paper are implemented. In developing the motion analysis algorithm, the characteristics of currently available cameras intended for use outdoors and indoors, currently sold, were taken into account. The parameters of video streams of applied tasks that can be solved using the proposed analysis algorithm and the corresponding recommended cameras are indicated. This list shows which cameras are best used for video stream motion detection tasks with the specified parameters. The proposed algorithm can be used in control systems for unmanned vehicles and monitoring of protected objects (from a stationary or moving camera), where it is important to promptly record unacceptable movement in strictly defined zones.

Keywords: unacceptable movement, video analysis, activity diagram, video stream parameters, graphic primitives, Wolfram Mathematica

Введение

Проблема анализа видеопотока на предмет обнаружения недопустимых (атипичных, нехарактерных) движений возникает в задачах управления беспилотным транспортом, мониторинге охраняемых объектов и в других прикладных задачах. К анализу ситуаций в видеопотоке применяются разные подходы, а именно, с использованием нейросетей и без их использования.

Необходимо отметить серию работ по определению атипичного движения с использованием нейросетевых методов. Например, в работе И.С. Синицына, М.В. Сулицкого, Д.С. Парыгина, В.А. Джагаева и В.Н. Серяковой предлагалось решение для идентификации негативных дорожных факторов на изображениях с камер видеонаблюдения с помощью моделей нейросетей YOLO и Mask-RCNN с последующим ин-

формированием пользователей через сервис бота в мессенджере Telegram [1]. В работе А.А. Морозова и О.С. Сушковой осуществляется логический анализ видеопотока с использованием нейросетей средствами языка «Акторный Пролог» [2]. В другой работе автором совместно с К.П. Шустовой производится анализ видеопотока на допустимость со стационарной камеры с использованием методов логики высказываний и нейросетевых методов библиотеки распознавания IMAGEAI [3].

По результатам анализа в этих работах в режиме реального времени выводилось сообщение о возникновении недопустимой ситуации в кадре. Все эти работы определяли, что (кто) именно находится в кадре (человек, автомобиль, грузовик, какой вид животного и т.д.). Поэтому методы, предложенные в этих статьях, стоит применять в ситуации, когда важно, кто (что) именно возникает в кадре. Если при этом важна траектория движения объекта, то стоит использовать метод, предложенный в статье А.А. Морозова и О.С. Сушковой [2]. Если важными для определения недопустимой ситуации в кадре являются логические условия, ограничивающие количество наблюдаемых объектов, то использовать систему, которая позволяет встраивать и пользовательские методы распознавания, например указанные выше, для решения комбинированной задачи с включением соответствующих опций из системы работы [3].

Следует отметить серию работ по определению атипичного движения без использования нейросетевых методов. Например, в работе Р.А. Шаталина, В.Р. Фидельмана, П.Е. Овчинникова был предложен метод главных компонент для обнаружения нехарактерного поведения в задачах видеонаблюдения со стационарной камеры. Основной идеей метода являлось нахождение инвариантного подпространства, натянутого на собственные векторы матрицы характерных признаков видеопотока. Затем рассчитывалась длина вектора невязки. На основе полученного значения этой длины делался вывод о допустимости и недопустимости зафиксированного движения в текущем кадре. Кадры видеопотока предварительно обрабатывались фильтрами удаления шумов и процедурой отделения фона [4]. Отметим, что автором настоящей статьи была создана система для определения атипичности движения, в базу моделей которой был заложен метод, предложенный этими авторами. Тестирование показало, что этот метод работает небыстро, поэтому был нужен более быстрый и в то же время достаточно точный метод анализа. В работе К.П. Шустовой [5]

предложен метод определения текущего уровня жидкости с помощью удаленного анализа видеопотока, получаемого со стационарной камеры. Здесь объектом наблюдения являлось движение уровня жидкости и допустимым считалось то его изменение (движение), которое находилось в допустимом для уровня интервале. В работе автора был организован учет наблюдения за несколькими областями интереса для одной стационарной камеры и предложена архитектура системы, реализующая контроль уровня в этих областях. Во второй работе К.П. Шустовой проводился анализ видеопотока на обнаружение движения в помещении со стационарной камеры, где был предложен алгоритм анализа видеопотока с использованием статистических методов [6]. Способ образования изображения для анализа позволил максимально избавиться от шумов, и существенным (то есть тем движением, которое надо учитывать) являлось движение, превосходящее допустимое значение для коэффициента вариации, соответствующего несущественному движению.

Необходимо привести работы, в которых видеопоток анализировался с подвижной камеры, а именно с камеры беспилотного транспортного средства. Так, в работе А.О. Лебедева, В.В. Васильева, А.Г. Паулиша был предложен алгоритм управления полетом беспилотного летательного аппарата вдоль железной дороги. Анализ видеопотока в ней осуществлялся статистическими и геометрическими методами с учетом перспективы, а в анализируемую область попадал как близкий к камере участок этой дороги, так и удаленный на большое расстояние, настолько, что камера захватывала и анализировала сближающиеся в перспективе рельсы железной дороги и атипичным (недопустимым) считалось отклонение движения беспилотного летательного аппарата от железнодорожного пути [7]. В другой работе был предложен алгоритм управления движением робота по цветовой линии на основе распознавания цветных объектов при помощи пороговой обработки изображения, где атипичным (недопустимым) считалось отклонение робота от направления цветовой линии [8]. В работе авторского коллектива: Ш.С. Фахми, Н.В. Шаталовой и Е.В. Костиковой были предложены алгоритмы потоковой обработки видеoinформации морских сюжетов, где в основу анализа был положен математический аппарат адаптивных алгоритмов дискретного косинусного преобразования. Предложенные в этой статье алгоритмы позволяли оценить допустимость/недопустимость возникшего сюжета на поверхности воды по

видеопотоку, полученному с движущейся камеры, обеспечивая быструю передачу данных с камеры беспилотника на обработчик. При анализе ситуации использовались сюжеты, заложенные в базу знаний системы наблюдения [9].

Необходимо отметить, что в различных задачах обнаружения нетипичных движений объектами интереса могут быть как крупные, так и мелкие объекты. К тому же эти объекты могут двигаться как с постоянной, так и с меняющейся скоростью. Поэтому для обнаружения типа имеющегося в кадре движения важной является задача захвата в кадр и того момента, когда объект развил максимально возможную для него скорость. Параметры видеопотока (ночное время, низкая или высокая освещенность, расстояние до объекта наблюдения и т.д.), в котором необходимо обнаружить недопустимое движение, тоже могут меняться. Поэтому актуальной является задача разработки быстро работающего алгоритма, учитывающего эти параметры и позволяющего обнаруживать недопустимые движения за счет гибкой настройки чувствительности параметров алгоритма. К тому же важно, чтобы этот алгоритм обеспечивал устойчивость к шуму и мог указывать место в кадре, где произошло обнаружение нетипичного движения.

Указанная выше гибкость настроек параметров метода анализа позволит, с одной стороны, обеспечить автоматизированный анализ видеопотока с помощью одной системы при меняющихся в процессе наблюдения его параметрах, с другой стороны, может быть использована для решения разных практических задач анализа видеопотока в условиях его получения со стационарной или движущейся камеры. В связи с этим актуальной является и, соответственно, разработка рекомендаций для создания удобного интерфейса такой системы.

Архитектура модуля, уже учитывающего регулировку некоторых нужных параметров для этого метода анализа, уже реализована в системе, предложенной автором в статье [10]. Поэтому при создании системы для обнаружения атипичности в видеопотоке полезно использование структурных элементов модуля, предложенного автором в этой статье. Архитектура этой системы, предложенной автором в этой статье, позволяет встраивать пользовательские методы анализа изображений. Поэтому предлагаемый автором метод может быть встроен в нее.

Цель исследования заключалась в разработке метода определения недопустимых движений в видеопотоке, который позволял гибко настраивать чувствительность обнаружения недопустимых движений,

при этом обеспечивал устойчивость к шуму и указывал место в кадре, где произошло обнаружение нетипичного движения, а также не тратил время на определение фона и траектории движения объектов, а получение результата анализа не тормозило видеопоток при его обработке в программах Wolfram Mathematica и Python.

Материалы и методы исследования

С помощью статистического анализа и растрового анализа были проанализированы видеопотоки на предмет наличия недопустимого (атипичного) движения с учетом предложения на торговых площадках современных камер и их возможностей. Объектами исследования являлись видеопотоки, предметом исследования – наличие недопустимого (атипичного) движения.

Результаты исследования и их обсуждение

Математическая модель для обнаружения типа движения

Создание изображения для анализа.

Пусть img – это матрица текущего изображения, получаемого с видеокамеры, и $N \times M$ – размерность этой матрицы.

Важной задачей является удачное формирование матрицы изображения для анализа $imgan$ из матрицы img . Метод формирования этой матрицы $imgan$ в предлагаемом в настоящей статье алгоритме берется близкий к предложенному в статье К.П. Шустовой [6]. А именно, в качестве изображения для анализа с матрицей $imgan$ берется динамическая разность двух бинарных кадров, снятых с паузой $pause$.

Значение этой паузы зависит от конкретной прикладной задачи и характеристик камеры наблюдения. Пусть камера настроена на частоту ω кадров в секунду и прикладная задача такова, что важна фиксация перемещения объекта наблюдения на x метров и допустимо перемещение объекта наблюдения со скоростью v км/ч. Тогда значение паузы $pause$ надо вычислять по формуле

$$pause = \frac{(x - y) \cdot 60 \cdot 60}{v \cdot 10^3} \text{ с,}$$

$$\text{где } y = \frac{60 \cdot 60}{v \cdot 10^3 \cdot \omega} \text{ м.}$$

Здесь надо иметь в виду, что если в задаче надо зафиксировать перемещение объекта, движущегося со скоростью, зависящей от времени t , то и $pause$ тоже может зависеть от t .

Если *pause* окажется неточно вычисляемой дробью в десятичной записи (как правило, до третьего знака после запятой), то в качестве *pause* в конкретной прикладной задаче, определение атипичности в которой зависит от скорости перемещения объекта, надо брать предельное значение слева. Это делается для того, чтобы в *imgan* четче зафиксировался момент недопустимого движения. Здесь учтено, что во время паузы выполнение программы полностью останавливается на указанный период времени. Это значит, что код не будет выполнен до того, как время паузы истечет.

Вычисление нужной паузы по указанной выше формуле позволит уменьшить время анализа видеопотока за счет избегания вычисления лишних разностей *imgan* и поиска на этих разностях значений характеристик движения.

На большинстве предприятий для камер настраивается частота $\omega = 15$ кадров в секунду. Такая частота обеспечивает устраивающую эти предприятия работу видеонаблюдения и позволяет экономно использовать место для хранения записей [11]. Здесь имеются в виду предприятия, объектами наблюдения которых являются люди или транспортные средства.

В связи с этим ниже проводится этот анализ для камеры с частотой $\omega = 15$ кадров в секунду и такой прикладной задачи, для которой важным является фиксация перемещения объекта (например, человека) на $x = 0,5$ м и того события, что объект наблюдения (человек) перемещался со скоростью большей, чем $v = 6$ км/час.

Анализ для *pause*. Пока фиксировался i -й кадр, прошло время $1/\omega = 1/15$ с. За это время ($1/\omega = 1/15$ с) объект (человек) переместится на

$$y = \frac{60 \cdot 60}{v \cdot 10^3 \cdot \omega} = \frac{60 \cdot 60}{6 \cdot 10^3 \cdot 15} = \frac{6}{10 \cdot 15} = \frac{1}{25} = 0.04 \text{ м.}$$

Значит, чтобы быть зафиксированным в $(i+1)$ -м кадре, ему осталось переместиться на $(x - y) = 0.46$ м.

В соответствии с условием задачи тогда на это перемещение $(x - y) = 0.46$ м надо потратить время *pause*. Следовательно,

$$pause = \frac{(x - y) \cdot 60 \cdot 60}{v \cdot 10^3} = \frac{0.46 \cdot 60 \cdot 60}{6 \cdot 10^3} = \frac{0.46 \cdot 6}{10} = 0.276 \text{ с.}$$

Выбор для анализа типа движения именно такой разности *imgan* позволяет также сразу максимально избавиться от «шумов» и тем самым увеличить точность предлагаемого алгоритма. Поэтому сразу уменьшается и вероятность ложного сигнала из-за шумов. Преимущество этого метода по сравнению с методом выбора изображения для анализа, предложенного, например, в статье Р.А. Шаталина, В.Р. Фидельмана, П.Е. Овчинникова [4], состоит в том, что на выделение фона на изображении, как это делается в данном исследовании, требуется больше времени, чем найти раз-

ность двух изображений, так как разность изображений – это просто разность соответствующих матриц этих изображений, а, чтобы выделить фон, программе сначала надо определить, что именно является фоном, а это трудоемкая задача, требующая немало времени.

Итак, в качестве изображения для анализа *imgan* берется динамическая разность двух бинарных кадров, снятых с паузой *pause* (по умолчанию можем взять *pause* = 0.276 с). В программе Wolfram Mathematica 11 это записывается следующим образом:

```
Dynamic[{img = CurrentImage[],
imgan = ImageDifference@@Table[Pause[pause];
Binarize[CurrentImage[]], {2}]}].
```

Задание областей интереса. В конкретной задаче видеонаблюдения важно анализировать не все изображение целиком, а выделять области на нем и проводить соответствующий анализ в этих выделенных областях интереса. Эти области задаются из соображений целесообразности в конкретной задаче видеоанализа.

Рекомендуется задавать области интереса такими, чтобы они позволяли решить задачу видеоанализа и не включали в себя блики и лишний фон. Соблюдение этих рекомендаций позволит сократить время анализа и повысит точность отклика наблюдения. Обозначим эти области интереса через *imganobl*[k].

На изображении, соответствующем матрице *imgan*, метод берет области интереса, соответствующие матрице *imganobl*[*k*], и в каждой из них в отдельности проводит анализ и сообщает о наличии или отсутствии недопустимого движения. Каждая область интереса может иметь разные размерности. Пусть область интереса *imganobl*[*k*] имеет размерность $n[k] \times m[k]$.

При задании размера области интереса учитывается, какую максимально возможную скорость в состоянии развить наблюдаемый объект, а также реальные размеры охвата камерой среды, в которой происходит движение. Это делается для того, чтобы объект, если бы он развил такую скорость, попал бы в область интереса в (*i*+1)-м кадре. Поэтому в область интереса должно попасть то место, где объект наблюдения мог бы находиться, если двигался бы с такой максимально возможной скоростью. Расчет размера области интереса индивидуален для каждой конкретной задачи наблюдения.

В предложенном автором алгоритме резкие движения частей наблюдаемого объекта точно попадут в (*i*+1)-й кадр, даже если объект в целом весь не перемещался. На разностях *imgan* места движений объекта – это белые участки на черном фоне. Черный фон – это те места, которые были неподвижны.

Улучшение качества областей интереса. На изображении, поступающем с камеры, как правило, разные области требуют разных процедур улучшения качества отображения этих областей с целью получения изображения, пригодного для конкретного анализа. Поэтому для каждой

области интереса в предлагаемом алгоритме задаются свои процедуры улучшения. Каждое улучшенное изображение области запоминается под тем же именем *imganobl*[*k*]. Здесь предлагаемый алгоритм учитывает параметры (признаки) поступающего видеопотока (о них см. ниже) и что имеющиеся в настоящее время камеры проводят автоматическое улучшение всего кадра в целом (что, безусловно, полезно и нужно для предлагаемого алгоритма), а не заданные для конкретной задачи анализа области интереса. Поэтому в предлагаемом алгоритме проводятся улучшения качества заданных областей интереса по умолчанию для каждого из признаков (параметров) поступающего видеопотока, и если пользователь, визуальное оценив эти улучшения, захочет их подправить, то в алгоритме предусмотрены соответствующие виджеты для параметров методов улучшения качества области интереса. Пользователь может улучшать *imganobl*[*k*] уже другим или тем же самым методом, двигая движки на форме методов улучшения изображения каждой области интереса. Процесс вырезки областей интереса и организация улучшения качества этих областей были представлены ранее в работах автора с соавт. К.П. Шустовой [3, 5].

Систему поддержки принятия решения, в базе моделей которой будет этот алгоритм, предлагается создавать, соблюдая принцип развития, аналогично тому, как это было предложено в статье К.П. Шустовой [5], а именно, путем задания порогов параметров и значений этих параметров в виде функций:

```
zadatp[k,vid,i] := Grid[{{"Задайте верхнюю грань порога p", i, " ",
    InputField[Dynamic[pmax[k,vid,i]], Number, FieldSize -> 4
    ]}}
```

```
slp[k,vid,i] := Grid[{{"p", i,
    Manipulator[Dynamic[p[k,vid,i]],
    {0, Dynamic[pmax[k,vid,i]]}}
    ]}}
```

здесь *k* – метка области интереса, *vid* – вид операции улучшения изображения для этой области (например, изменение порога бинаризации, изменение масштаба), *i* – номер параметра для метода вида *vid*, *pmax*[*k*, *vid*, *i*] – это верхний порог параметра метода, *p*[*k*, *vid*, *i*] – текущее значение порога параметра метода. Здесь устанавливать верхний порог и его текущее значение пользователь может, осуществив ввод значения порога в поле ввода или сдвинув движок на форме пользователя.

Итак, на этом этапе есть области интереса, улучшенные каждая своими методами. Причем имена у них остались прежними: *imganobl*[*k*]. Теперь для каждой улучшенной области будут находиться параметры движения в ней. Алгоритм нахождения параметров движения в области интереса описывается ниже.

Алгоритм контроля движения. Здесь предлагается алгоритм анализа в областях интереса *imganobl*[*k*]. Сначала в каждой области наблюдения находится относительная

частота появления белых пикселей. Пусть $b[k]$ – количество белых пикселей в области интереса $imganobl[k]$. Тогда относительная частота появления белых пикселей в области $imganobl[k]$ вычисляется следующим образом:

$$p[k] = \frac{b[k]}{n[k] \cdot m[k]}.$$

Далее учитывается, что связанные белые области в $imganobl[k]$ – это места, где произошло движение (смещение). Поэтому если $p[k]$ больше допустимого порога $pdop[k]$, то соответствующая область будет анализироваться подробнее. Величина порога $pdop[k]$ определяется как результат обучения системы на обучающей выборке видеопотоков или рассчитывается, исходя из конкретной прикладной задачи наблюдения, если задача позволяет это сделать.

Если $b[k]$ не больше допустимого порога $pdop[k]$, то нет необходимости анализировать подробнее соответствующую область, так как этот случай означает, что в этой области происходит допустимое движение (то есть движение типичное, характерное). Это позволяет сократить время анализа видеопотока на наличие нехарактерных (недопустимых, нетипичных) движений.

Теперь встала задача, как же именно анализировать подробнее ту область, в которой $p[k]$ оказался больше допустимого порога $pdop[k]$. Здесь надо учесть, что этот алгоритм должен быть быстроисполнимым, так как анализируется видеопоток и важна скорость анализа. В связи с этим автором предлагается смотреть на $imganobl[k]$ как на черный пористый материал, на котором есть белые поры. Мелкие поры алгоритм будет считать соответствующими шуму (допустимыми мелкими движениями), а крупные – соответствующими уже недопустимому изменению положения объекта (или уже нехарактерному, атипичному движению). Искомое решение о допустимости/недопустимости движения автор строит с помощью так называемого когнитивного автомата, рассматриваемого К.Б. Саниевым [12]. А именно, в настоящей работе автором реализуется анализ на допустимость движения в видеопотоке на основе анализа структурного примитива, назвав этот структурный примитив «стволом». Под «стволом» поры понимаются базовый (то есть наименьший) белый прямоугольный участок, начиная с которого движение считается нетипичным (недопустимым, нехарактерным). Обозначим этот ствол через $stvol[k]$, то есть ствол для области наблюдения $imganobl[k]$. Пора считается крупной, если ее «ствол» крупный.

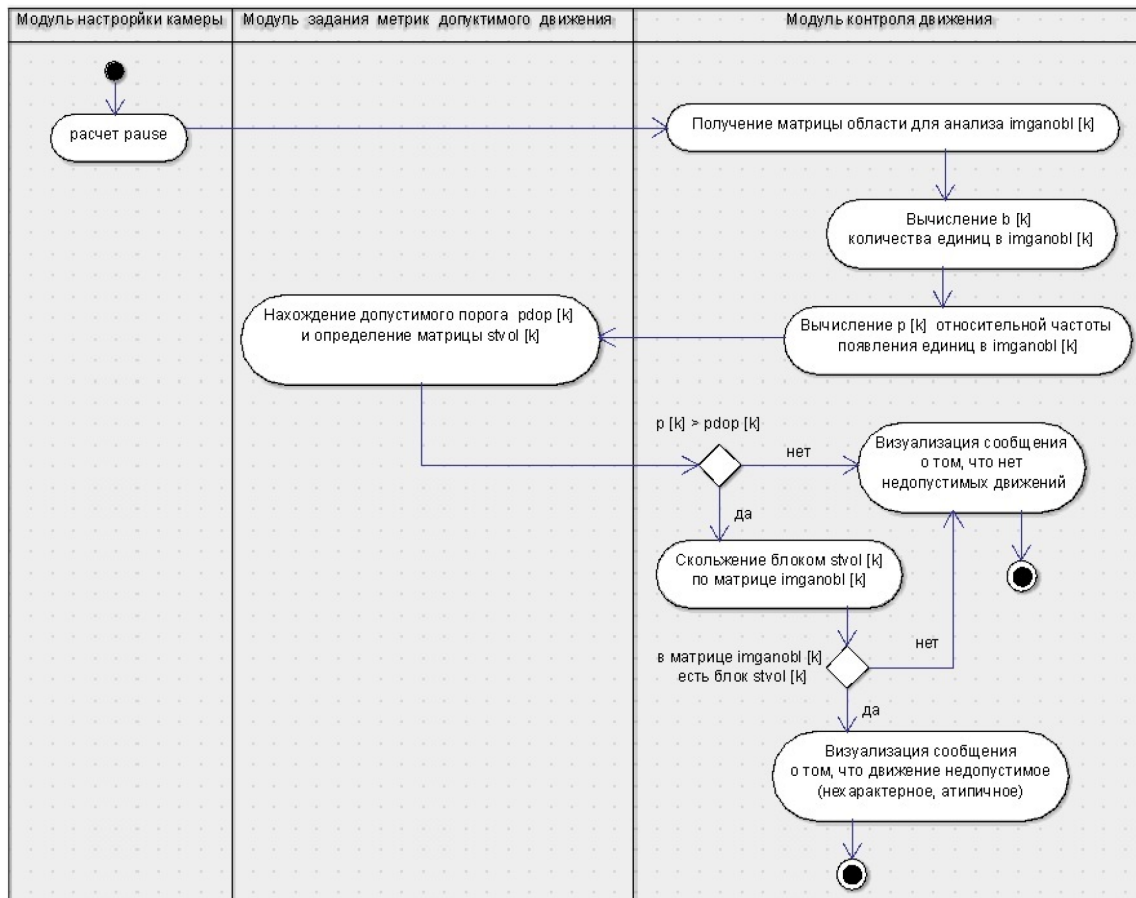
Размер ствола зависит от конкретной прикладной задачи, характеристик камеры наблюдения, удаленности объекта наблюдения от камеры и наклона плоскости наблюдения к плоскости камеры. Этот фиксированный размер ствола может определять аналитик (или агент, если прикладная задача касается поведения агента в среде) на основе расчета или обучения на примерах видеонаблюдения в конкретной прикладной задаче. Пусть размер этого ствола $stvol[k]$ равен $bn[k] \times bm[k]$.

Когда уже известен $stvol[k]$, то алгоритм ищет графическую примитиву $stvol[k]$ в $imganobl[k]$, скользя по этой области интереса, то есть ищет первый белый прямоугольник фиксированного размера. Если находит первую из пор с таким стволом, то сигнализирует о появлении в этой области недопустимого (нехарактерного, нетипичного) движения. Заметим, что в предложенном алгоритме не надо находить все белые поры с таким стволом, а надо находить только первую такую и сразу сообщать о наличии в этой области недопустимого движения. Это так же позволяет сократить время анализа.

Схема предложенного автором алгоритма контроля движения приведена на UML-диаграмме деятельности на рисунке.

В зависимости от конкретной прикладной задачи возникает целесообразность нахождения этого «ствола» $stvol[k]$, скользя по области интереса $imganobl[k]$ по горизонтали (слева направо или справа налево) и/или по вертикали (сверху вниз или снизу вверх). Поэтому в предложенном методе эти опции тоже учитываются.

Если прикладная задача такова, что искать наличие этого «ствола» надо, скользя по горизонтали слева направо, то сначала формируется матрица a , как часть матрицы $imganobl[k]$, являющаяся левым верхним блоком размером $bn[k] \times bm[k]$, и вычисляется сумма элементов этой матрицы. Если эта сумма окажется равной $bn[k] \cdot bm[k]$, то сообщается, что в области интереса $imganobl[k]$ обнаружено недопустимое движение. Если нет, то переопределяется матрица a . А именно, берется теперь блок размера $bn[k] \times bm[k]$, начиная с элемента матрицы $imganobl[k]$, стоящего на месте (1, 2). Снова вычисляется сумма элементов этой матрицы, сравнивается с $bn[k] \cdot bm[k]$. Далее делается соответствующий вывод о наличии недопустимого движения и т.д., пока еще можно формировать матрицу a , двигаясь по первой строке. Если такой возможности уже нет, то повторяется то же самое для следующей строки в матрице $imganobl[k]$ и т.д., пока еще можно формировать новые матрицы a из $imganobl[k]$, двигаясь вниз.



Алгоритм контроля движения в видеопотоке
Выполнен автором в программе ArgoUML

В системе Wolfram Mathematica 11 эту процедуру можно записать так:

```

status[k]=0; (*Изначально, когда еще наблюдения не было, статус
движения устанавливается как допустимое *)
analiz1=Do[
Do[
{(*Слева направо и сверху вниз*)
a=imganobl[k][[i;;(bn[k]+i-1),j;;bm[k]+j-1]]},

If[Total[a,2]==bn[k] bm[k],

status[k]=1;
Print["Обнаружено недопустимое движение в области ",k,
" со стволом",MatrixForm[a]];Break[],

Print["движение в области ",k," ищем тип"]
]
},
{j,1,m[k]-bm[k]+1}},
{i,1,n[k]-bn[k]+1}]
  
```

Аналогично для остальных направлений скольжения формируем переменные *analiz2*, *analiz3*, *analiz4*, меняя только способ формирования матрицы *a*:

```
(*Справа налево и сверху вниз: *)
a=imganobl[k][[i;;(bn[k]+i-1),(-j-bm[k]+1);;-j]],

(*Слева направо и снизу вверх *)
a=imganobl[k][[(-bn[k]-i+1);;-i,j;;bm[k]+j-1]],

(*Справа налево и снизу вверх: *)
a=imganobl[k][[(-bn[k]-i+1);;-i,(-j-bm[k]+1);;-j]],
```

В этом методе автором учтено, что при определении недопустимого движения достаточно найти только первый такой «ствол» и именно на бинарном изображении.

Свойства предложенного алгоритма, примеры ситуаций, в которых применим предложенный алгоритм с указанием параметров для камер

Предлагаемый в настоящей работе алгоритм обнаружения недопустимого движения имеет параметры: пауза *pause*, *pdop[k]* и *stvol[k]*. Допустимое значение для *pause* зависит: от вида камеры; от длины вектора перемещения объекта, которое хотим обнаружить; от скорости объекта наблюдения, превышение которой считается недопустимым движением. Параметры *pdop[k]* и *stvol[k]* зависят: от размера объекта наблюдения, движение которого интересует; от его допустимой скорости движения; от расстояния камеры до этого объекта наблюдения.

Поэтому для решения вопроса о фиксации недопустимого движения в конкретной рассматриваемой прикладной задаче возможно использование только конкретного вида камер в зависимости от их характеристик. При разработке алгоритма анализа движения учтены характеристики имеющихся в настоящее время камер, предназначенных для использования на улице и в помещениях, реализующихся в продаже в настоящее время. Ниже перечислены параметры видеопотока и камеры, с которых может быть получен видеопоток для анализа предложенным в настоящей работе алгоритмом. Приведенный ниже список параметров видеопотоков и соответствующих камер сформирован на основе анализа специализированных торговых площадок [11, 13].

Список параметров видеопотоков прикладных задач, которые могут быть решены с помощью предложенного алгоритма анализа, и соответствующие рекомендуемые камеры:

– *Видеопоток поступает в ночное время*: IP-камера HiWatch DS-I200(D) и IP-камера TP-LINK Tapo C310 позволяют сразу получать кадры уже улучшенного качества для этого параметра видеопотока.

– *Нужно четкое отображение мелких деталей*: реализуется в IP-камере HiWatch DS-I400(C), а также в IP-камере HiWatch DS-I203(D) (2,8 мм). Поэтому эти камеры лучше использовать для задач по обнаружению движений мелких объектов.

– *Гарантирование качественной съемки при низком освещении*: реализуется в IP-камере Dahua DH-IPC-HFW2431SP-S-0280B, а также в IP-камерах HiWatch DS-I203(D) (2,8 мм), Dahua DH-IPC-HFW2230SP-S-0280B, RVi-1NCT2120 (2.8) white, IPTRONIC IPT-IPL1080BM(2,8)P.

– *Настройка по осям и вращение камеры*: реализуется в IP-камере Dahua DH-IPC-HDW2230TP-AS-0280B, а также в IP-камере Dahua DH-IPC-HFW2230SP-S-0280B.

– *Обеспечение малого расстояния до объекта наблюдения*: реализуется в IP-камере Dahua DH-IPC-HDW2230TP-AS-0280B: для 2,8 мм: 0,6 м, для 3,6 мм: 1,1 м.

– *Частота передачи видеопотока*:

а) в IP-камере HiWatch DS-I200(D) частота до 25 кадров в секунду;

б) в IP-камере HiWatch DS-I400(C) есть два варианта: 20 к/с, 25 к/с;

в) в IP-камере Dahua DH-IPC-HDW2230TP-AS-0280B: для основного потока 1920×1080 (1 к/с – 25/30 к/с), для дополнительного потока 704×576 (1 к/с – 25 к/с), 704×480 (1 к/с – 30 к/с).

Также имеются различные камеры для беспилотных транспортных средств [14, 15]. Предложенный автором алгоритм и для них тоже подходит.

Эксперименты подтвердили, что система, в базу моделей которой заложен предложенный в настоящей статье алгоритм, позволяет гибко настраивать чувствительность с помощью *pause*, *pdop[k]* и *stvol[k]*, обеспечивая устойчивость к шуму и решение поставленной задачи анализа.

Ниже отмечены свойства предложенного алгоритма детектирования движения.

При пороге *pdop[k]*, близком к единице (например, *pdop[k] ≥ 0.9*), мелкие движения не детектируются и алгоритм устойчив к шуму. При параметре *pdop[k]*, близком к нулю, происходит очень чувствительная детекция движения (даже небольшие движения фиксируются). Поэтому если в при-

кладной задаче надо фиксировать даже незначительные движения или движения мелких объектов, то параметру $pdop[k]$ надо давать значения, близкие к нулю, и ствол $stvol[k]$ брать мельче.

Если областью интереса охватываем далекие от камеры объекты, то параметры $pdop[k]$, $stvol[k]$ должны быть меньше, если близкие к камере объекты – то эти параметры должны быть больше.

Если надо детектировать движение крупного высокого объекта, высота которого заранее известна, то в $stvol[k]$ должно быть больше строк, чем столбцов, то есть должно быть $bn[k] > bm[k]$. Причем в этом случае надо рассчитать количество строк $bn[k]$ в зависимости от известной реальной высоты объектов наблюдения и удаленности объекта наблюдения от камеры.

Если надо детектировать движение крупного невысокого объекта, то в $stvol[k]$ должно быть больше столбцов, чем строк, то есть должно быть $bn[k] < bm[k]$.

Если надо детектировать движение, происходящее в вертикальном направлении области интереса, то в $stvol[k]$ должно быть больше строк, чем столбцов, то есть должно быть $bn[k] > bm[k]$. Если надо детектировать движение, происходящее в горизонтальном направлении области интереса, то в $stvol[k]$ должно быть больше столбцов, чем строк, то есть должно быть $bn[k] < bm[k]$. Наконец, если надо детектировать движение, происходящее в области интереса без учета приоритета его направленности, то $stvol[k]$ может быть квадратным $bn[k] = bm[k]$.

Чем большее движение считается допустимым в видеопотоке, тем крупнее должен быть параметр $stvol[k]$.

Предложенный в настоящей статье алгоритм на ноутбуке с процессором AMD Ryzen 54600H with Radeon Graphics 3.00 GHz и оперативной памятью 16,0 ГБ (доступно 15,4 ГБ) обнаруживает недопустимые движения не более чем за 0,02 с при размере ствола 3x3 для матрицы области интереса размерностью 200x200, а допустимые в сотни раз быстрее. То есть пользователь видит результаты анализа видеопотока без задержек и «зависаний».

Заключение

В настоящей работе автором предложен новый алгоритм обнаружения недопустимого (нехарактерного, нетипичного) движения в видеопотоке без использования нейросетевых методов. Был предложен новый способ формирования изображения для анализа видеопотока на недопустимость (нехарактерность, атипичность), параметры оценки движения и логика контро-

ля этих параметров. Предложенный подход к обнаружению нештатной (недопустимой, нехарактерной, атипичной) ситуации в видеопотоке позволил существенно сократить время ее обнаружения.

В работе автором также приведены рекомендации для разработки интерфейса системы для обнаружения недопустимого движения. Эти рекомендации могут быть использованы при разработке модулей для решения конкретных прикладных задач по обнаружению недопустимых движений.

Предложенный в настоящей работе алгоритм может быть использован для обнаружения недопустимого движения в видеопотоке, получаемом как со стационарной, так и с движущейся камеры. В настоящей работе выделены характеристики видеопотоков, которые возникают в прикладных задачах анализа и учитываются предложенным в работе методом, а также указаны соответствующие этим параметрам современные камеры, которые можно использовать для получения нужного для анализа видеопотока.

Список литературы

1. Силицын И.С., Сулицкий М.В., Парыгин Д.С., Джагаев В.А., Серякова В.Н. Использование нейронных сетей для определения дорожной обстановки // Системный анализ в науке и образовании. 2022. № 2. С. 17–22. URL: <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/531> (дата обращения: 21.04.2025).
2. Морозов А.А., Сушкова О.С. Анализ видеоизображений в реальном времени средствами языка Акторный Пролог // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 6. С. 947–957. URL: <https://computeroptics.ru/KO/PDF/KO40-6/400623.pdf>. (дата обращения: 21.04.2025). DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-6-947-957.
3. Шустова Е.П., Шустова К.П. Архитектура многозадачной системы распознавания с помощью IMAGEAI и пользовательскими методами распознавания // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 12–1. С. 88–93. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39442>. (дата обращения: 21.04.2025). DOI: 10.17513/snt.39442.
4. Шаталин Р.А., Фидельман В.Р., Овчинников П.Е. Обнаружение нехарактерного поведения в задачах видеонаблюдения // Компьютерная оптика. 2017. Т. 41. № 1. С. 37–45. URL: <https://computeroptics.ru/KO/PDF/KO41-1/410105.pdf>. (дата обращения: 21.04.2025). DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-1-37-45.
5. Шустова К.П. Проектирование системы поддержки принятия решения для контроля текущего уровня жидкости с помощью удаленного видеоанализа // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6–1. С. 102–107. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38705>. DOI: 10.17513/snt.38705 (дата обращения: 21.04.2025).
6. Шустова К.П. Создание приложения для обнаружения движения в помещении со стационарной камеры в Mathematica 8. Сообщение и сигнализация о его существенности (критерий количества движения – коэффициент вариации) // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9977> (дата обращения: 21.04.2025).
7. Лебедев А.О., Васильев В.В., Паулиш А.Г. Алгоритм управления полетом БПЛА вдоль железной дороги с помощью технического зрения // Компьютерная оптика. 2025.

Т. 49. № 2. С. 320–326. URL: <https://computeroptics.ru/KO/Annot/KO49-2/490217.html> (дата обращения: 21.04.2025). DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1532.

8. Сороковнина И.А. Движение робота по цветовой линии и распознавание цветных объектов при помощи пороговой обработки изображения // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2024. Т. 80. № 3. С. 89–95. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=78990576> (дата обращения: 21.04.2025).

9. Фахми Ш.С., Шаталова Н.В., Костикова Е.В. Поточковая обработка видеоинформации морских сюжетов с использованием расширенной инструкции процессора // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 2–1 (52). С. 124–131. URL: http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1624373141MITV OL52No2PART12021COMP.pdf (дата обращения: 21.04.2025). DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.018. EDN: CAZRGX.

10. Shustova E.P. Design principles and architecture of the system «Processing and analysis of images and video streams» // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1158 (4). № 042017. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1158/4/042017> (дата обращения: 21.04.2025).

11. Официальная страница товаров ООО «ВИДЕОГЛАЗ ЦЕНТР». [Электронный ресурс]. URL: <https://videoglaz.ru/blog/chastota-kadrov-videonablyudeniya> (дата обращения: 21.04.2025).

12. Саниев К.Б. Когнитивное машинное зрение на основе параметрического анализа структурных примитивов изображений // Ползуновский вестник. 2013. № 2. URL: http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2013_02/pdf/073saniev.pdf (дата обращения: 21.04.2025).

13. Официальная страница товаров интернет-магазина продукции DAHUA Technology [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dahua.market/kamery-videonablyudeniya> (дата обращения: 21.04.2025).

14. Официальная страница торговой площадки AeroExpo, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aeroexpo.com.ru> (дата обращения: 21.04.2025).

15. Валеев А. Оптические системы для автопилотируемых и роботизированных комплексов // Control Engineering. 2023. Июль. [Электронный ресурс]. URL: <https://controleng.ru/tehnicheskoe-zrenie/opticheskie-sistemy> (дата обращения: 21.04.2025).

УДК 004.942
DOI 10.17513/snt.40397

МЕТОДИКА АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

^{1,2}Юмашев Е.А.

¹ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН»,
Иркутск, e-mail: yumashevgeny@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск

В статье рассмотрены вопросы анализа и обработки больших массивов метеорологических данных. Целью исследования является обмен опытом в выявлении и корректировке пропущенных и аномальных значений временных рядов метеорологических данных. В рамках исследования разработаны алгоритмы нормализации данных, выявления их индивидуальных и контекстных аномалий, а также корректировки пропущенных и аномальных значений. Особенности разработанных алгоритмов являются использование модели машинного обучения, основанной на применении деревьев решений, для изучения рядов данных при выявлении пропущенных значений, а также анализ временных и сезонных закономерностей при выявлении индивидуальных и контекстных аномалий на основе специализированных библиотек на языке программирования Python. Разработанные алгоритмы включены в программные модули сервис-ориентированного приложения для получения, обработки и анализа климатических данных при решении сложных мультидисциплинарных научных и прикладных задач экологического мониторинга Байкальской природной территории. Предложенная методика применена для анализа и обработки нескольких временных рядов метеорологических данных, полученных с метеостанций, которые расположены на Байкальской природной территории. Результаты применения методики показали существенное повышение качества обработанных данных, использованных в дальнейшем на практике в задачах моделирования работы автономных энергетических систем инфраструктурных объектов Байкальской природной территории.

Ключевые слова: метеорологические данные, пропущенные и аномальные значения, обработка данных, машинное обучение

Исследование проведено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах» (рег. № 121032400051-9).

METHOD FOR ANALYZING AND PROCESSING TIME SERIES OF METEOROLOGICAL DATA

^{1,2}Yumashev E.A.

¹Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS,
Irkutsk, e-mail: yumashevgeny@mail.ru;

²Irkutsk State Transport University, Irkutsk

The study investigates the problems of analysis and processing of large datasets of meteorological data. The goal of the research is to exchange experience in identifying and correcting missing and anomalous values in meteorological time series data. Within the scope of the study, algorithms for data normalization, detection of individual and contextual anomalies, and correction of missing and anomalous values, were developed. A distinctive feature of the developed algorithms is the use of a machine learning model based on decision trees for the analysis of data series for the identification of values, as well as for the analysis of temporal and seasonal patterns in the detection of individual and contextual anomalies, using specialized libraries in the Python programming language. The developed algorithms are integrated into software modules of a service-oriented application for obtaining, processing, and analyzing climate data in solving complex multidisciplinary scientific and applied tasks related to ecological monitoring of the Baikal Natural Territory. The proposed method was applied to the analysis and processing of several meteorological time series obtained from meteorological stations located in the Baikal Natural Territory. The results of the method application demonstrated a significant improvement in the quality of processed data, which was later used in practical tasks such as modeling the operation of autonomous energy systems for infrastructure facilities in the Baikal Natural Territory.

Keywords: meteorological data, missing and abnormal values, data processing, machine learning

The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. FWEW-2021-0005 “Technologies for the development and analysis of domain-oriented intelligent group control systems in non-deterministic distributed environments” (reg. No. 121032400051-9).

Введение

Экологический мониторинг играет важную роль в изучении состояния окружающей среды и выявлении факторов, влияющих на ее изменения. Важным элементом такого мониторинга являются метеорологические наблюдения, которые предоставляют временные ряды данных о климатических и погодных условиях, воздействующих на исследуемые экосистемы. Метеорологические данные широко используются на практике для анализа тенденций изменения климата, оценки воздействия антропогенных факторов и прогнозирования экологических изменений. Надежность и точность таких данных имеют решающее значение для разработки стратегий управления природными ресурсами и адаптации к изменениям окружающей среды [1]. Выявление пропущенных [2] и аномальных [3] значений метеорологических временных рядов данных, а также их устранение и корректировка являются важной проблемой в области метеорологии [4]. В частности, климатические данные часто содержат пропуски, ошибки, аномальные отклонения значений и другие погрешности, которые могут существенно влиять на результаты последующего анализа, прогнозирования или принятия решений. Примером таких данных являются архивы метеорологических наблюдений, в которых часто содержатся искаженные данные, что обусловлено техническими сбоями оборудования, ошибками измерений или экстремальными природными явлениями.

В связи с этим **целями данного исследования** являются разработка методики, а также обмен опытом в выявлении и корректировке пропущенных и аномальных значений в метеорологических временных рядах данных. В рамках методики предложены алгоритмы выявления погрешности данных и их корректировки. Приведен пример применения предложенной методики и подчеркнуты ее особенности и преимущества.

Материалы и методы исследования

Для анализа и обработки временных рядов метеорологических данных предложена методика, включающая следующие основные этапы:

- выявление пропусков значений данных и их заполнение:

- перевод категориальных данных в числовые данные;

- обучение модели прогнозирования пропущенных значений данных временного ряда;

- анализ временного ряда с целью выявления пропусков значений данных;

- заполнение пропусков значений данных временного ряда на основе обученной модели;

- выявление аномалий значений данных временного ряда:

- нормализация данных;

- анализ временного ряда метеорологических данных с целью выявления индивидуальных аномалий значений данных;

- смягчение (коррекция) индивидуальных аномалий значений данных временного ряда;

- анализ временного ряда метеорологических данных с целью выявления контекстных аномалий значений данных;

- смягчение (коррекция) контекстных аномалий значений данных временного ряда.

Общая схема применения данной методики продемонстрирована применительно к задаче построения моделей типичного, оптимистического и пессимистического годов, широко используемых в дальнейшем при решении различных научных и прикладных задач [5, 6], она приведена на рисунке. Исследование в рамках данной статьи направлено, в частности, на повышение точности вышеупомянутых моделей. Этапы применения предложенной методики выделены оливковым цветом.

Временной ряд метеорологических данных представляет собой последовательность наблюдений за определенными показателями, зафиксированными через равные промежутки времени. Такие данные важны для выявления закономерностей, трендов и предсказания будущих значений. Процесс выявления и заполнения пропусков значений является неотъемлемой частью анализа и обработки метеорологических данных. В рамках данного процесса использована регрессионная модель, представленная деревом решений [7]. Эта модель позволяет эффективно моделировать нелинейные зависимости между признаками, учитывать временные и контекстуальные особенности данных, а также обеспечивает высокую интерпретируемость результатов. Так как дерево решений не поддерживает работу с категориальными данными [8], они преобразуются в числовой формат.

Для построения дерева решений использованы временные признаки, такие как год, месяц, день и час. Эти признаки выбраны как независимые переменные, поскольку временные аспекты, такие как сезонные колебания и время суток, часто оказывают значительное влияние на метеорологические данные.

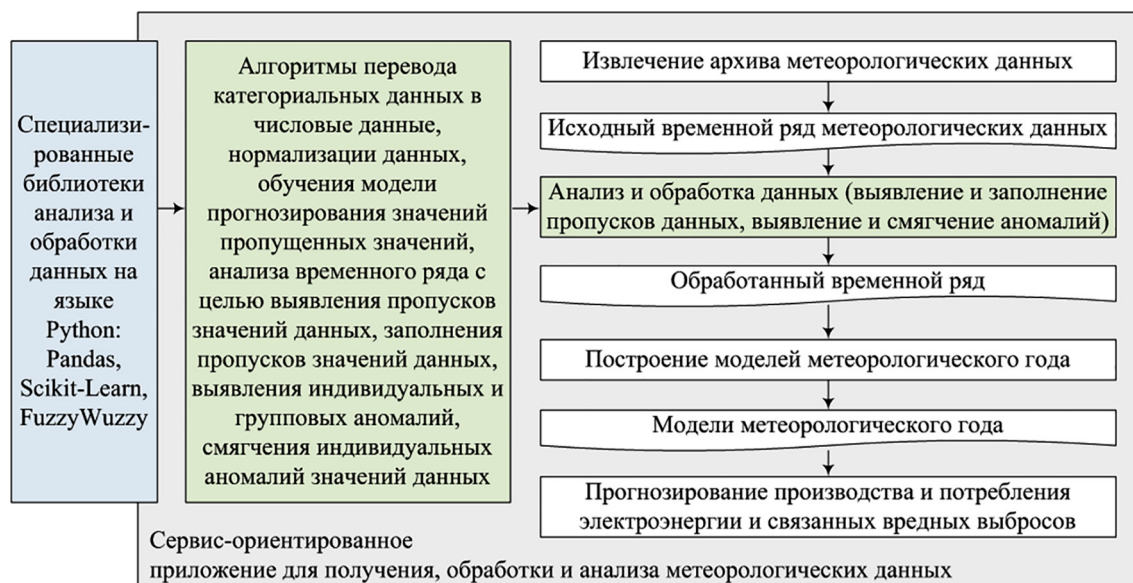


Схема применения методики в задаче построения моделей метеорологического года

Источник: составлено автором

Включение временных характеристик позволяет учесть изменения, связанные с различными временными периодами, что делает данную модель более чувствительной к закономерностям, присущим конкретным временным интервалам. Обученная модель применена для прогнозирования пропущенных значений в исследуемых временных рядах. Спрогнозированные значения использованы для заполнения пропущенных значений в соответствующих столбцах ряда. Это позволило восстановить недостающие данные без необходимости удаления строк с пропусками и обеспечить сохранение целостности и структуры данных. При этом категориальные данные, преобразованные в числовой формат, переводятся в исходный текстовый формат.

Процесс выявления аномалий в метеорологических данных включает выявление индивидуальных и групповых аномалий, а также их коррекцию. В рамках данного процесса важным этапом предобработки данных, использующих разные шкалы измерения, является их нормализация. Она обеспечивает приведение всех данных к единой шкале. Это особенно важно для методов, чувствительных к масштабу данных. В рамках исследования для выявления индивидуальных аномалий выбран метод ближайших соседей [9], поскольку результаты его работы легко интерпретируются, он обладает гибкостью в настройке, позволяет изменять число соседей и выбирать метрику расстояний. Это дает возможность адаптировать данный метод под раз-

личные характеристики данных и улучшить точность выявления аномальных значений в зависимости от структуры временного ряда. Метод ближайших соседей основан на предположении, что аномалии – это точки данных, которые имеют меньшую плотность соседей по сравнению с остальными точками данных временного ряда. Порог аномалии устанавливается на основе Z-оценки расстояний до ближайших соседей [10]. Такой подход позволяет выявлять выбросы на основе статистического анализа расстояний между точками в многомерном пространстве.

В отличие от индивидуальных аномалий, характеризующихся отдельными отклонениями значений данных, групповые аномалии проявляются в конкретном временном контексте рассмотрения данных, например в течение суток, месяца, квартала и т.д. [11]. В случае поиска групповой аномалии для ее выявления используется информация о заданном периоде времени. С этой целью вычисляются средние значения и стандартные отклонения для каждого периода времени. Если значение того или иного параметра временного ряда имеет существенное отклонение в рамках заданного временного контекста рассмотрения данных, то оно считается аномалией. После определения групповых аномалий данных выполняется коррекция их значений. Для этого используется регрессионная модель, представленная деревом решений и рассмотренная выше.

Алгоритмы выявления пропусков значений данных и их заполнения, а также об-

наружения индивидуальных и групповых аномалий значений данных реализованы на языке Python. Он включает широкий спектр программных библиотек, существенно упрощающих разработку алгоритмов машинного обучения, анализа и обработки данных. Для реализации алгоритмов выявления и заполнения пропусков используются свободно распространяемые библиотеки Pandas, Scikit-Learn и FuzzyWuzzy [12]. На первом этапе с помощью библиотеки Pandas загружаются данные временного ряда из Excel-файла. Затем из столбца ряда данных с датой извлекаются временные признаки (год, месяц, день и час), которые используются для обучения модели. Категориальные данные, включая информацию об облачности, высоте облаков, направлении ветра и других параметрах, преобразуются в числовые значения с использованием заранее подготовленных словарей, содержащих все возможные категории. Для заполнения пропущенных значений применяется модель дерева решений DecisionTreeRegressor из библиотеки Scikit-Learn, которая обучается на временных признаках. После обучения модель прогнозирует пропущенные значения, которые затем заменяют отсутствующие данные в соответствующих столбцах. Категориальные данные, преобразованные в числовой формат, впоследствии возвращаются в текстовую форму.

Алгоритмы выявления аномалий и их корректировки реализованы с использованием библиотек Scikit-Learn и Pandas. Выполняется нормализация данных [13] с помощью инструмента StandardScaler библиотеки Scikit-Learn. Все данные приводятся к единой шкале. Это обеспечивает корректную обработку данных алгоритмами машинного обучения. Для выявления индивидуальных аномалий используется метод ближайших соседей, реализованный в библиотеке Scikit-Learn с помощью инструментов KNeighborsClassifier и KNeighborsRegressor. Порог аномалии устанавливается на основе Z-оценки, вычисляемой через расстояния до ближайших соседей. Z-оценка служит индикатором того, на-

сколько сильно значение отклоняется от среднего. Если ее величина превышала установленный порог, то точка данных считалась аномальной. При выявлении групповых аномалий для каждого месяца вычисляются средние значения и стандартные отклонения для метеорологических показателей с использованием библиотеки Pandas. На основе этой статистической информации для каждого наблюдения оценивается, насколько его значение отклоняется от норм, характерных для конкретного месяца. Если отклонение является значительным, то данные считаются аномалией в рамках заданного временного контекста. После обнаружения аномалий применяется коррекция значений с использованием модели дерева решений DecisionTreeRegressor из библиотеки Scikit-Learn.

Результаты исследования и их обсуждение

Предложенная методика применена для анализа и обработки временных рядов данных, используемых в задаче прогнозирования экстремальных метеорологических условий мультиагентной системой моделирования взаимодействия микросетей [14]. Результаты ее применения показаны на модельном примере. В качестве ретроспективного временного ряда взят один из рядов данных, полученных с метеостанции, расположенной вблизи взаимодействующих микросетей. На его основе получен зашумленный ряд (ts_1) путем внесения пропусков данных и аномальных значений для следующих параметров: температура воздуха, атмосферное давление, скорость ветра и относительная влажность. Затем получен обработанный ряд (ts_2) с помощью алгоритмов выявления пропусков значений данных и их заполнения, а также выявления индивидуальных и групповых аномалий значений данных и их коррекции. Среднеквадратические отклонения данных зашумленного и обработанного (путем выявления и заполнения пропусков данных) рядов относительно данных ретроспективного временного ряда для вышеупомянутых параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты выявления и заполнения пропусков значений

Ряд	Температура воздуха	Атмосферное давление	Скорость ветра	Относительная влажность
ts_1	4,5958	4,5644	1,4706	16,1919
ts_2	4,5578	4,5592	1,4629	16,1883

Источник: составлено автором.

Таблица 2

Результаты выявления аномалий и их коррекции

Ряд	Температура воздуха	Атмосферное давление	Скорость ветра	Относительная влажность
ts_1	8,0610	59,5603	5,1360	11,5824
ts_2	4,4575	4,0105	1,5493	9,4202

Источник: составлено автором.

Среднеквадратические отклонения данных зашумленного и обработанного (путем выявления и коррекции аномалии данных) рядов относительно данных ретроспективного временного ряда для тех же параметров представлены в таблице 2.

В процессе работы алгоритмов выявления и заполнения пропущенных значений достигнуто существенное уменьшение среднеквадратического отклонения обработанных данных от реальных данных для тех же параметров составило 3,6035, 55,5498, 3,5867 и 2,1622 соответственно. Эти результаты подтверждают эффективность предложенной методики и ее практическую значимость с точки зрения возможности улучшения качества временных рядов метеорологических данных. Дальнейшее направление исследований связано с развитием предложенной методики. В частности, предполагается использование более сложных моделей машинного обучения и методов глубокой аналитики, представленных, например, в работе [15], с целью более точного обнаружения и смягчения аномальных значений, а также восстановления пропущенных значений.

Заключение

В рамках исследования предложена методика выявления и корректировки пропущенных и аномальных значений в метеорологических временных рядах данных с использованием специализированных библиотек программ на языке Python. Особенностью предложенной методики является совместное согласованное применение нормализации данных, выявления одиночных и контекстных аномалий на основе сравнения со значениями ближайших соседей во временном ряде, а также корректировки

пропущенных и аномальных значений с использованием дерева решений. Разработаны алгоритмы, обеспечивающие эффективное устранение пропущенных и аномальных значений метеорологических данных с целью смягчения влияния некорректных значений на результаты последующего моделирования в процессе решения научных и прикладных задач. Алгоритмы реализованы с использованием библиотек Pandas, Scikit-Learn и FuzzyWuzzy. Предложенная методика успешно применена для улучшения качества метеорологических данных, используемых для построения моделей метеорологического года.

Список литературы

1. Feoktistov A., Gorsky S., Kostromin R., Fedorov R., Bychkov I. Integration of Web Processing Services with Workflow-Based Scientific Applications for Solving Environmental Monitoring Problems // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022. Vol. 11. № 1. P. 8. DOI: 10.3390/ijgi11010008.
2. Макушкин М.С., Лапшин В.А. Обработка пропусков в рыночных данных на примере задачи оценки кривой доходностей облигаций // Финансы: теория и практика. 2023. Т. 27. № 6. С. 44–53. DOI: 10.26794/2587-5671-2023-27-6-44-53.
3. Darban Z.Z., Webb G.I., Pan S., Aggarwal C., Salehi M. Deep Learning for Time Series Anomaly Detection: A Survey // ACM Computing Surveys. 2024. Vol. 57. № 1. P. 15. DOI: 10.1145/3691338.
4. Jijo B.T., Abdulazeez A.M. Classification Based on Decision Tree Algorithm for Machine Learning // Standard Journal Issues. 2021. Vol. 2. № 1. P. 20–28. DOI: 10.38094/jastt20165.
5. Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Горский С.А., Костромин Р.О., Федоров Р.К. Автоматизация интеграции сервисов веб-обработки данных экологического мониторинга с распределенными научными приложениями // Автометрия. 2022. Т. 58. № 4. С. 67–75. DOI: 10.15372/AUT20220400.
6. Карамов Д.Н., Еделев А.В., Феоктистов А.Г. Моделирование энергоснабжения объектов охраняемой Байкальской природной территории на основе возобновляемых источников энергии // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 5. С. 7–24. DOI: 10.34286/1995-4646-2020-74-5-7-24.
7. Liu Y., Yang S. Application of Decision Tree-Based Classification Algorithm on Content Marketing // Journal of Mathematics. 2022. Vol. 2022. P. 1–10. DOI: 10.1155/2022/6469054.
8. Dinh D., Huynh V., Sriboonchitta S. Clustering mixed numerical and categorical data with missing values // Information Sciences. 2021. Vol. 571. P. 418–442. DOI: 10.1016/j.ins.2021.04.076.

9. Li R., Li S. Multimedia Image Data Analysis Based on KNN Algorithm // *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. P. 1–28. DOI: 10.1155/2022/7963603.
10. Azim M., Sharif M.J. Usability of Z Score: A Case Study on Peoples Leasing and Financial Services Limited & Bangladesh Industrial Finance Company Limited // *International Journal of Management and Accounting*. 2020. Vol. 2. № 3. P. 38–46. DOI: 10.34104/ijma.020.038046.
11. Pasini K., Khoudja M., Samé A., Trépanier M., Oukhellou L. Contextual anomaly detection on time series: a case study of metro ridership analysis // *Neural Computing and Applications*. 2021. Vol. 34. P. 1483–1507. DOI: 10.1007/s00521-021-06455-z.
12. Afriyanto A., Wibawa Y.E. Development of Chatbot Services for Ordering Media Support Using Fuzzy Logic Algorithm: Case Study of PT. Pemuda Cari Cuan (Mangkokku) // *Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*. 2024. Vol. 9. № 1. P. 9–18. DOI: 10.54732/jeeecs.v9i1.2.
13. Голуб Ю.И., Старовойтов В.В. Нормализация данных в машинном обучении // *Информатика*. 2021. Т. 18. № 3. С. 83–96. DOI: 10.37661/1816-0301-2021-18-3-83-96.
14. Чекан М. Автоматизация разработки мультиагентных систем на основе иерархических машин состояний // *Современные наукоемкие технологии*. 2025. № 3. С. 59–65. DOI: 10.17513/snt.40324.
15. Kontopoulou V.I., Panagopoulos A.D., Kakkos I., Matsopoulos G.K. A Review of ARIMA vs. Machine Learning Approaches for Time Series Forecasting in Data Driven Networks // *Future Internet*. 2023. Vol. 15. № 8. P. 255. DOI: 10.3390/fi15080255.

УДК 621.3.037.372.3
DOI 10.17513/snt.40398

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ В ДВОИЧНОЙ И ТРОИЧНОЙ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМАХ СЧИСЛЕНИЯ

Юрьев Г.К., Гиниятуллин В.М., Блинова Д.В.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа,
e-mail: Egorka.yurev17@mail.ru

В статье представлено исследование повышения точности решения дифференциальных уравнений за счет применения троичной сбалансированной системы счисления в экспоненциальном виде, с плавающей запятой. Сравнение результатов вычислений и оценка точности приводятся в десятичной системе счисления. Работа основана на сравнительном анализе трех подходов: аналитического решения дифференциального уравнения как эталона точности, классического метода Эйлера в двоичной системе (с проведением компьютерных вычислений) и классического метода Эйлера в троично-сбалансированной системе счисления с симметричным алфавитом $\{-1, 0, +1\}$ (вычисления выполнялись вручную). Теоретическое обоснование преимуществ троичной сбалансированной системы счисления базируется на уникальных свойствах симметричной арифметики, обеспечивающей естественную компенсацию ошибок округления. Работа демонстрирует возможность значительного повышения точности решения дифференциальных уравнений без увеличения вычислительной сложности за счет использования троично-сбалансированной системы счисления. Результаты численных экспериментов свидетельствуют о существенном преимуществе троично-сбалансированной системы счисления: достигаемая погрешность решения составляет всего 1–6%, что в несколько раз точнее по сравнению с результатами, полученными в традиционной двоичной системе. Такое улучшение точности объясняется фундаментальными свойствами симметричной троичной арифметики, где сбалансированное представление чисел способствует взаимной компенсации ошибок округления на каждом шаге вычислений. Показано, что использование троичной сбалансированной системы счисления позволяет повысить точность вычисления в 5 и более раз по сравнению с традиционной двоичной реализацией.

Ключевые слова: троичная сбалансированная система счисления, классический метод Эйлера, двоичная система счисления, обыкновенное дифференциальное уравнение, аналитический метод, численный метод

ESTIMATION OF THE ERROR IN SOLVING A DIFFERENTIAL EQUATION IN BINARY AND TERNARY BALANCED NUMBER SYSTEMS

Yurev G.K., Giniyatullin V.M., Blinova D.V.

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: Egorka.yurev17@mail.ru

The article presents a study of improving the accuracy of solving differential equations by using a ternary balanced number system in exponential form, with floating point. A comparison of the calculation results and an estimate of accuracy are given in decimal notation. The work is based on a comparative analysis of three approaches: the analytical solution of a differential equation as a standard of accuracy, the classical Eulerian method in a binary system (with computer calculations) and the classical Eulerian method in a ternary-balanced number system with a symmetric alphabet $\{-1, 0, +1\}$ (calculations were performed manually). The theoretical justification of the advantages of the ternary balanced number system is based on the unique properties of symmetric arithmetic, which provides natural compensation for rounding errors. The work demonstrates the possibility of significantly improving the accuracy of solving differential equations without increasing computational complexity by using a ternary-balanced number system. The results of numerical experiments indicate a significant advantage of the ternary-balanced number system: the achieved error of the solution is only 1–6%, which is several times more accurate than the results obtained in the traditional binary system. This improvement in accuracy is explained by the fundamental properties of symmetric ternary arithmetic, where a balanced representation of numbers helps to compensate for rounding errors at each step of the calculations. It is shown that the use of a ternary balanced number system makes it possible to increase the accuracy of the calculation by 5 or more times compared with the traditional binary implementation.

Keywords: ternary balanced number system, classical Eulerian method, binary number system, ordinary differential equation, analytical method, numerical method

Введение

Современные высокотехнологичные отрасли, такие как аэрокосмическая промышленность и ядерная энергетика, предъявляют исключительные требования к точности решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). В аэрокосмической сфере погрешность в 0,001% при расчете

траекторий может привести к отклонению космического аппарата на километры от цели, а в ядерной энергетике ошибка в 0,0001% способна вызвать перегрев активной зоны реактора. Эти примеры наглядно демонстрируют критическую важность разработки высокоточных методов численного решения ОДУ [1; 2].

В данной работе исследуется перспективный подход к повышению точности решения дифференциального уравнения классическим методом Эйлера за счет применения троично-сбалансированной системы счисления (ТСС).

Троичная сбалансированная система счисления – это позиционная система счисления, которая содержит в своем алфавите 3 символа: -1; 0; +1. Знаки перед единицами «встроены» в свои символы, и иногда разряды ТСС-чисел так и именуются – «минус/плюс». Для обозначения -1 можно использовать любой символ кроме 0 и 1, в данной работе используется символ 7 [3; 4].

Исторически первая аппаратная реализация троично-сбалансированной системы счисления была осуществлена Н.П. Брусенцовым при создании ЭВМ «Сетунь» [5]. Впоследствии данная технология получила развитие в California Polytechnic State University [6], а в настоящее время продолжает привлекать внимание разработчиков электронных систем [7].

Цель исследования – повышение точности решения дифференциальных уравнений за счет применения троичной сбалансированной системы счисления в экспоненциальном виде, с плавающей запятой.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований было выбрано обыкновенное дифференциальное уравнение [8; 9], решение которого осуществлялось в двоичной [10] и троичной сбалансированной системах счисления [3] с использованием классического метода Эйлера [11].

Обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка [12, с. 107]:

$$y' = \frac{5}{2}e^x - \frac{\sin x}{2} - \frac{\cos x}{2}. \quad (1)$$

Формула метода Эйлера [13, с. 377]:

$$y_{n+1} = y_n + h * f(x_n, y_n). \quad (2)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Для удобства работы с числами в данной работе используется следующая запись числа: мантисса, со значащим разрядом до запятой – в ТСС, экспонента в десятичной системе счисления – число 3 в соответствующей степени. В табл. 1 и 2 приведены пошаговые вычисления значений дифференциального уравнения в троичной сбалансированной и десятичной системах счисления с разной степенью точности.

Таблица 1

Результаты ручного расчета ОДУ в ТСС
с шагом $h = 0,05$, с точностью 7 трит после запятой

$y_i,$ $i=$	Вычисление в ТСС	Результат в десятичной СС
1	$1,7000000*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * 1,7000000*3^1 = 1,7010701*3^1$	2,1001371
2	$1,7010701*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0001100*3^1 + 1,7010701*3^1) = 1,7170077*3^1$	2,2167352
3	$1,7170077*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0010701*3^1 + 1,7170077*3^1) = 1,7100000*3^1$	2,3333333
4	$1,7100000*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0011001*3^1 + 1,7100000*3^1) = 1,7110101*3^1$	2,45816188
5	$1,7110101*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0177101*3^1 + 1,7110101*3^1) = 1,0771007*3^1$	2,5912208
6	$1,0771007*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0171700*3^1 + 1,0771007*3^1) = 1,0717711*3^1$	2,7338820
7	$1,0717711*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0107007*3^1 + 1,0717711*3^1) = 1,0070707*3^1$	2,8751714
8	$1,0070707*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0100171*3^1 + 1,0070707*3^1) = 1,0001000*3^1$	3,0370370
9	$1,0001000*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0117777*3^1 + 1,0001000*3^1) = 1,0170707*3^1$	3,2085048
10	$1,0170707*3^1 + 1,1001100*3^{-3} * (0,0110717*3^1 + 1,0170707*3^1) = 1,0117770*3^1$	3,3909465

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Результаты ручного расчета ОДУ в ТСС
с $h = 0,05$, с точностью 4 трит после запятой

y_i^p $i =$	Вычисление в ТСС	Результат в десятичной СС
1	$1,7000 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * 1,7000 * 3^1 = 1,7010 * 3^1$	2,111111
2	$1,7010 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0001 * 3^1 + 1,7010 * 3^1) = 1,7170 * 3^1$	2,222222
3	$1,7170 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0010 * 3^1 + 1,7170 * 3^1) = 1,7100 * 3^1$	2,333333
4	$1,7100 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0011 * 3^1 + 1,7100 * 3^1) = 1,7110 * 3^1$	2,444444
5	$1,7110 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0177 * 3^1 + 1,7110 * 3^1) = 1,0771 * 3^1$	2,592592
6	$1,0771 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0171 * 3^1 + 1,0771 * 3^1) = 1,0717 * 3^1$	2,740740
7	$1,0717 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0107 * 3^1 + 1,0717 * 3^1) = 1,0070 * 3^1$	2,888888
8	$1,0070 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0100 * 3^1 + 1,0070 * 3^1) = 1,0001 * 3^1$	3,037037
9	$1,0001 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0117 * 3^1 + 1,0001 * 3^1) = 1,0170 * 3^1$	3,222222
10	$1,0170 * 3^1 + 1,1001 * 3^{-3} * (0,0110 * 3^1 + 1,0170 * 3^1) = 1,0117 * 3^1$	3,407407

Источник: составлено авторами.

В данной работе для компьютерных вычислений значений ОДУ методом Эйлера была написана программа на языке Си, использующая для переменных стандартный 32-битный формат данных IEEE 754 с плавающей запятой: бит 31 – знак мантииссы, 30 – 23 биты – экспонента, 22 – 0 биты – мантиисса без первой цифры, что обеспечивает примерно 7 десятичных значащих цифр в диапазоне ± 8388608 . Особое внимание уделялось изучению влияния точности представления

чисел на накопление вычислительной погрешности – проводились серии расчетов с последовательным уменьшением разрядности мантииссы как для исходных данных, так и для промежуточных результатов.

Запись аналитического решения ОДУ [14; 15], а также результаты решения ОДУ классическим методом Эйлера в двоичной системе счисления, в случае, если задействованы все 23 бита при представлении мантииссы, изображены на рис. 1.

xt=0.000000	yt=2.000000	xe=0.050000	ye=2.100000
xt=0.050000	yt=2.103813	xe=0.100000	ye=2.207499
xt=0.100000	yt=2.215509	xe=0.150000	ye=2.322865
xt=0.150000	yt=2.335481	xe=0.200000	ye=2.446481
xt=0.200000	yt=2.464139	xe=0.250000	ye=2.578738
xt=0.250000	yt=2.601905	xe=0.300000	ye=2.720045
xt=0.300000	yt=2.749219	xe=0.350000	ye=2.870824
xt=0.350000	yt=2.906534	xe=0.400000	ye=3.031510
xt=0.400000	yt=3.074322	xe=0.450000	ye=3.202556
xt=0.450000	yt=3.253074	xe=0.500000	ye=3.384432
xt=0.500000	yt=3.443299		

Рис. 1. Результаты решения ОДУ аналитическим (yt) и численным методом (ye) в компьютерном представлении в виде короткого вещественного числа

Консоль отладки Microsoft Visual Studio				
xt=0.000000	yt=2.000000			
xt=0.050000	yt=2.103813	xe=0.049988	ye=2.099609	yTCC=2.1001371
xt=0.100000	yt=2.215509	xe=0.099976	ye=2.205078	yTCC=2.2167352
xt=0.150000	yt=2.335481	xe=0.149902	ye=2.318359	yTCC=2.3333333
xt=0.200000	yt=2.464139	xe=0.199829	ye=2.441406	yTCC=2.4581618
xt=0.250000	yt=2.601905	xe=0.249756	ye=2.572266	yTCC=2.5912208
xt=0.300000	yt=2.749219	xe=0.299561	ye=2.712891	yTCC=2.733882
xt=0.350000	yt=2.906534	xe=0.349365	ye=2.861328	yTCC=2.8751714
xt=0.400000	yt=3.074322	xe=0.399170	ye=3.019531	yTCC=3.037037
xt=0.450000	yt=3.253074	xe=0.448975	ye=3.189453	yTCC=3.2085048
xt=0.500000	yt=3.443299	xe=0.498779	ye=3.369141	yTCC=3.3909465

Рис. 2. Результаты решения ОДУ аналитическим (yt) и численным (ye) методами представлены в виде вещественных чисел с усеченной 10-битной мантиссой

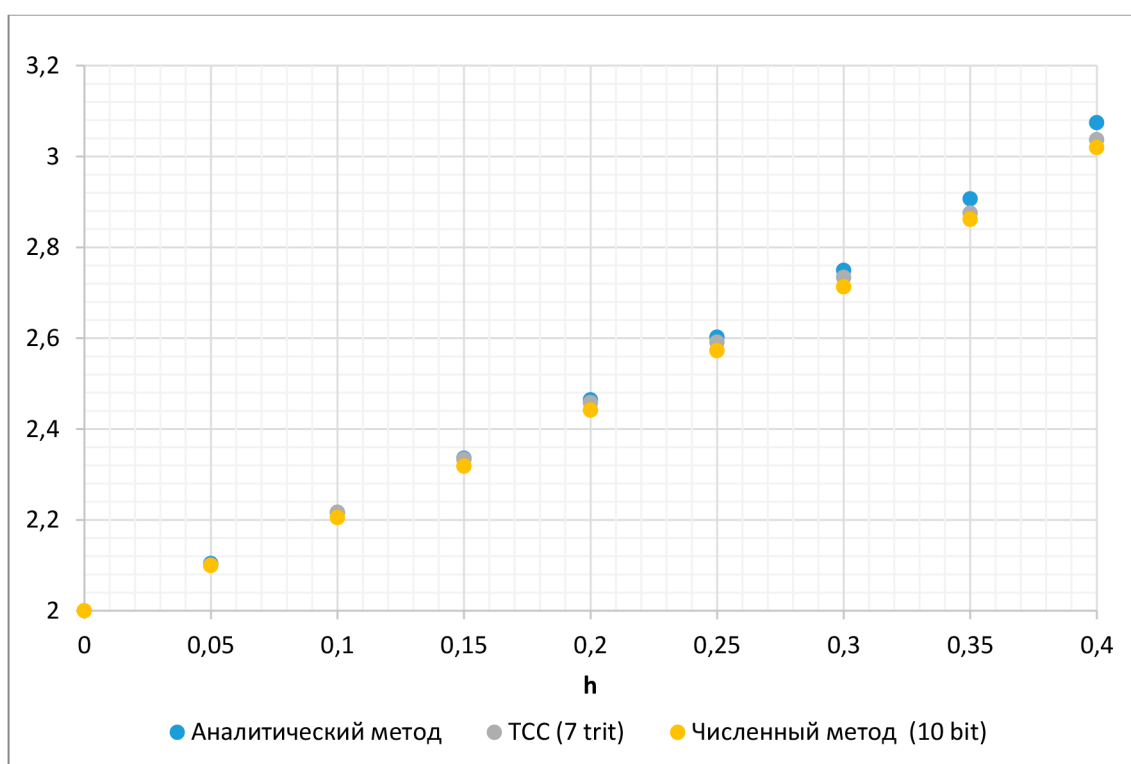


Рис. 3. Графическое представление результатов решения ОДУ

После усечения разрядов до 10 бит представления мантиссы, значащая часть числа находится в диапазоне ± 1024 (десятичное представление), мантисса в 7 трит ТСС числа соответствует диапазону ± 1093 (десятичное представление). Запись аналитического решения ОДУ, а также результаты компьютерного решения ОДУ классическим методом Эйлера приведены на рис. 2.

Точечная диаграмма результатов решения ОДУ приведена на рис. 3.

После усечения разрядов до 5 бит представления мантиссы, значащая часть числа находится в диапазоне ± 32 (десятичное

представление), мантисса в 4 трита ТСС числа соответствует диапазону ± 40 (десятичное представление). Запись аналитического решения ОДУ, а также результаты решения ОДУ классическим методом Эйлера в двоичной системе счисления при шаге $h = 0,05$ приведены на рис. 4.

Точечная диаграмма результатов решения ОДУ приведена на рис. 5.

Как видно из рис. 3 и 5, результат решения ОДУ классическим методом Эйлера с применением ТСС позволяет получить более точное решение по сравнению с традиционной двоичной реализацией.

Консоль отладки Microsoft Visual Studio				
xt=0.000000	yt=2.000000			
xt=0.050000	yt=2.103813	xe=0.049805	ye=2.062500	yTCC=2.111111
xt=0.100000	yt=2.215509	xe=0.099609	ye=2.125000	yTCC=2.222222
xt=0.150000	yt=2.335481	xe=0.148438	ye=2.187500	yTCC=2.333333
xt=0.200000	yt=2.464139	xe=0.195312	ye=2.250000	yTCC=2.444444
xt=0.250000	yt=2.601905	xe=0.242188	ye=2.312500	yTCC=2.592592
xt=0.300000	yt=2.749219	xe=0.289062	ye=2.375000	yTCC=2.74074
xt=0.350000	yt=2.906534	xe=0.335938	ye=2.500000	yTCC=2.888888
xt=0.400000	yt=3.074322	xe=0.382812	ye=2.625000	yTCC=3.037037
xt=0.450000	yt=3.253074	xe=0.429688	ye=2.750000	yTCC=3.222222
xt=0.500000	yt=3.443299	xe=0.476562	ye=2.875000	yTCC=3.407407

Рис. 4. Результаты решения ОДУ аналитическим (yt) и численным (ye) методами представлены в виде вещественных чисел с усеченной 5-битной мантиссой

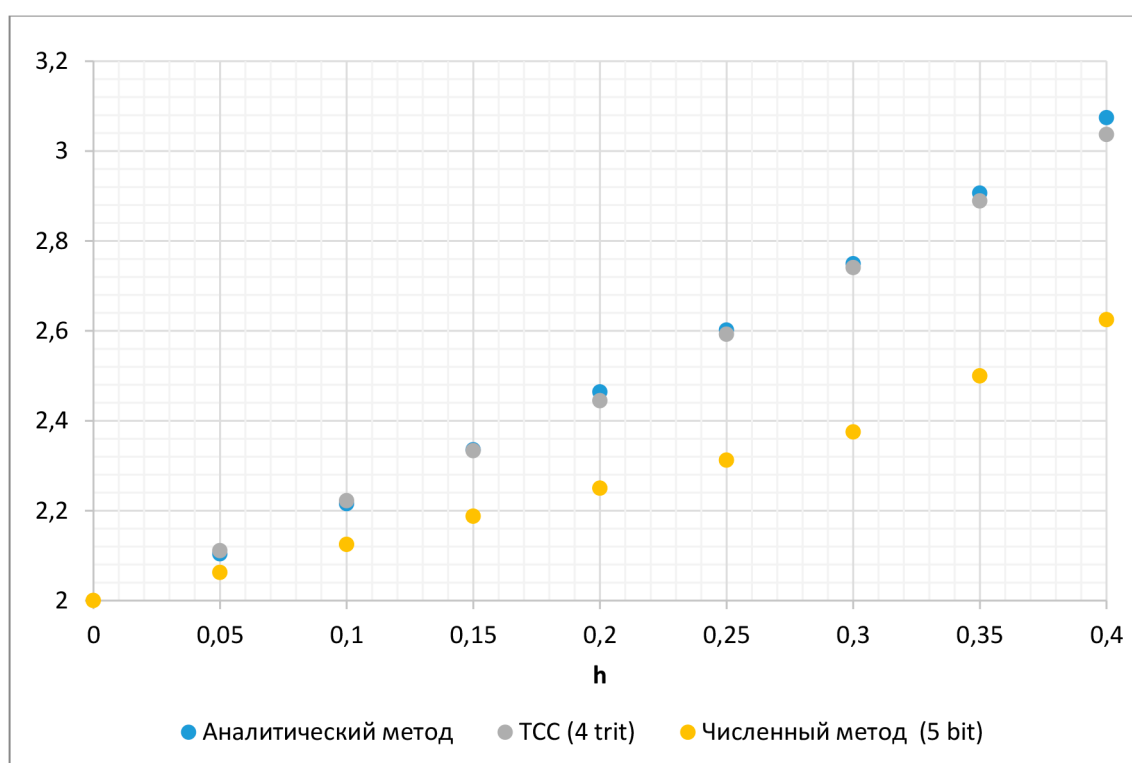


Рис. 5. Графическое представление результатов решения ОДУ

Заключение

Исследование показало высокую эффективность трюично-сбалансированной системы счисления (ТСС) для решения дифференциальных уравнений методом Эйлера, погрешность вычислений в рамках проведенных исследований составила 1–6%.

Применение ТСС в классическом методе Эйлера на примере обыкновенного дифференциального уравнения позволило достичь значительного улучшения точности вычисления – в 5 раз и более раз по сравнению с традиционной двоичной реализацией.

Список литературы

1. Ромм Я.Е., Буланов С.Г. Численное моделирование устойчивости по Ляпунову // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 7. С. 42–60. DOI: 10.17513/snt.38752.
2. Гладков С.О. Об одном классе решений двухмерного уравнения Лапласа на трехмерном многообразии // Владикавказский математический журнал. 2024. Т. 26. № 2. С. 39–46. DOI: 10.46698/j9246-8718-0030-f.
3. Гиниятуллин В.М., Салихова М.А. Эффект компенсации ошибок округления в трюично-сбалансированной системе счисления // Вестник кибернетики. 2020. № 4 (40). С. 14–20. DOI: 10.34822/1999-7604-2020-4-14-20.
4. Габитов Р.Н., Габитова Я.А., Гиниятуллин В.М., Филиппов В.Н. Электронный ключ защиты с функциональностью трюичного сопроцессора // Нефтегазовое дело. 2015. № 2. С. 385–396.

5. Брусенцов Н.П., Жоголев Е.А., Веригин В.В., Маслов С.П., Тишулина А.М. Малая цифровая вычислительная машина «Сетунь». М.: Изд-во МГУ, 1965. 145 с.
6. Connelly J., Patel C., Chavez A., Nico P. Ternary Computing Testbed 3-Trit Computer Architecture. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2008. 192 p.
7. Семиколеннов С.А., Винокуров А.И., Малахов С.В., Якупов Д.О. Троичные процессоры // Наука и бизнес: пути развития. 2024. № 2 (152). С. 56–59.
8. Арушанян О.Б., Залеткин С.Ф. Об оценке погрешности приближенного решения обыкновенных дифференциальных уравнений, определенного с помощью рядов Чебышева // Вычислительные методы и программирование. 2020. Т. 21. № 3. С. 241–250. DOI: 10.26089/NumMet.v21r321.
9. Sherykhalina N.M., Shaymardanova E.R. Comparison of accuracy of the Cauchy problem solutions by different numerical methods // Syst. Eng. Inf. Technol. 2023. Vol. 5, Is. 6 (15). P. 11–16. DOI: 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no6-p11.
10. Златопольский Д.М. Из истории двоичной системы счисления. Франческо Брунетти // Информатика в школе. 2023. № 3 (182). С. 86–90. DOI: 10.32517/2221-1993-2023-22-3-86-90.
11. Корсунов К.А., Лыштван Е.Ю., Харченко Е.И., Чаленко А.В. Исследование устойчивости метода Эйлера – Кромера решения ОДУ // Вестник Луганского государственного университета им. Владимира Даля. 2022. № 7 (61). С. 176–180.
12. Титов А.Н., Тазиева Р.Ф. Решение задач линейной алгебры и прикладной математики в Python. Работа с библиотекой SciPy: учебно-методическое пособие. Казань: КНИТУ, 2023. 124 с.
13. Эйлер Л. Интегральное исчисление / Пер. с лат. С.Я. Лурье, М.Я. Выгодского. М.: Государственное издательство техническо-теоретической литературы, 1956. 415 с.
14. Толок А.В., Толок Н.Б. Моделирование решения обыкновенного дифференциального уравнения функционально-воксельным методом // Научная визуализация. 2024. Т. 16. № 3. С. 37–47. DOI: 10.26583/sv.16.3.04.
15. Рзаева В.Г.К. Необходимые условия оптимальности первого и второго порядков в одной задаче оптимального управления, описываемой системой гиперболических интегро-дифференциальных уравнений типа Вольтерра // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 62. С. 4–12. DOI: 10.17223/19988605/62/1.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 004.9

DOI 10.17513/snt.40399

ИНСТРУМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ В НАУКЕ О ДАННЫХ^{1,2}Горбунов В.И., ¹Салимов Т.А., ¹Горбань Е.В.¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский институт ИТМО», Санкт-Петербург,
e-mail: gorbunov.v93@gmail.com;²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург

Современные междисциплинарные проекты в области науки о данных характеризуются высокой сложностью, множеством участников и необходимостью координации организационных и технических процессов. Одной из ключевых проблем в таких проектах является обеспечение воспроизводимости методов и результатов исследований. Целью работы является проведение обзора современных практик и инструментов, направленных на повышение воспроизводимости в проектах науки о данных, и их анализ с точки зрения управления исследовательским процессом. Был проведен систематический обзор из более чем 50 публикаций за 2015-2025 годы, направленный на выявление современных организационных практик и инструментов, применяемых для обеспечения воспроизводимости в проектах науки о данных из научных и прикладных публикаций, документации инструментов в науке о данных и открытых репозиториях. Из них 30 работ легли в основу данного обзора. В работе рассмотрены пять ключевых категорий решений: контроль версий кода, данных и отчетов; управление зависимостями и средами исполнения; автоматизация процессов и оркестрация пайплайнов; стандартизация хранения данных; документирование и обеспечение прозрачности. Особое внимание уделено управленческому эффекту от их применения – снижению издержек, рисков и трудозатрат на коммуникации и выполнение типовых работ. Основными ограничениями внедрения инструментов воспроизводимости в организационные процессы остаются необходимость зрелой инфраструктуры, организационных изменений и обучения персонала. Представленные выводы могут быть использованы при разработке стандартов управления исследовательскими проектами, формировании корпоративной культуры прозрачности и выборе инструментов для применения.

Ключевые слова: управление исследованиями, наука о данных, воспроизводимость, управление автоматизацией исследований, организационно-технические системы

AUTOMATION TOOLS FOR ENSURING REPRODUCIBLE RESEARCH IN DATA SCIENCE^{1,2}Gorbunov V.I., ¹Salimov T.A., ¹Gorban E.V.¹ITMO University, St. Petersburg, e-mail: gorbunov.v93@gmail.com;²Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Modern interdisciplinary data science projects are characterized by high complexity, multiple participants, and the need to coordinate organizational and technical processes. One of the key challenges in such projects is to ensure reproducibility of research methods and results. The aim of the work is to review modern practices and tools aimed at improving reproducibility in data science projects, and to analyze them from the point of view of managing the research process. A systematic review of more than 50 publications from 2015-2025 was conducted, aimed at identifying modern organizational practices and tools used to ensure reproducibility in data science projects from scientific and applied publications, documentation of tools in data science and open repositories. Of these, 30 papers formed the basis of this review. The paper considers five key categories of solutions: version control of code, data and reports; dependency management and execution environments; automation of processes and pipeline orchestration; standardization of data storage; documentation and transparency. Special attention is paid to the management effect of their use – reducing costs, risks and labor costs for communication and standard work. The main limitations of implementing reproducibility tools in organizational processes remain the need for mature infrastructure, organizational changes, and staff training. The presented conclusions can be used in the development of standards for the management of research projects, the formation of a corporate culture of transparency and the selection of tools for application.

Keywords: research management, data science, reproducibility, research automation management, socio-technical systems

Введение

Современные исследования в области науки о данных всё чаще рассматриваются не только как технические проекты по построению моделей, но и как сложные организационные системы, в которых задействованы многопрофильные команды, сложные вычислительные пайплайны и разнообразная инфраструктура. В таких проектах затрагивается широкий круг участ-

ников, зачастую из разных подразделений: менеджеры, владельцы продуктов, бизнес-аналитики, IT-архитекторы, специалисты по инфраструктуре, эксперты в доменной области и другие заинтересованные лица. Многообразие ролей и интересов предъявляет высокие требования к координации, прозрачности и контролю работ на всех этапах исследования. Одним из ключевых факторов успеха таких междисциплинарных проектов является воспроизводимость

применяемых методов и полученных результатов [1-3].

Фрагментация инструментов, несогласованность этапов обработки данных, отсутствие стандартов в организации работы, а также неоптимальные коммуникации между управленческими и исполнительными ролями затрудняют управление исследовательской деятельностью [4]. Данные проблемы создают значительные барьеры для управляемости процессов, усложняют принятие решений и затрудняют внедрение результатов исследований в практическое использование, а также сервисную поддержку разработанных решений [5]. Современные проекты в области науки о данных требуют не только высокой точности моделирования, но и прозрачности, воспроизводимости и управляемости процессов проведения исследований в составе команды [6; 7].

Рассмотрение исследовательского проекта как организационно-технической системы, подлежащей управлению с использованием инструментов автоматизации, позволяет повысить надежность, воспроизводимость и устойчивость всего процесса получения знаний из данных [8; 9].

В условиях высокой динамики и сложности проектов с применением машинного обучения необходимость в формализации и стандартизации организационных процессов становится особенно актуальной. В таком случае воспроизводимость выступает не только инженерной, но и управленческой задачей, т.к. обеспечивает:

- прозрачность и возможность многосторонней верификации результатов – любые участники, от команды разработки до руководства организацией, могут проследить ход исследований и подтвердить достоверность выводов;
- управляемость проекта – при наличии четко описанных процедур и регламентов снижаются риски, связанные с нехваткой документированных знаний, что особенно важно при ротациях персонала и изменениях в приоритетах бизнеса;
- эффективное распределение ресурсов – формальные инструменты контроля и отчетности позволяют менеджерам отслеживать динамику исследований и вовремя принимать управленческие решения, например о перераспределении бюджета, назначении новых исполнителей и выделении вычислительных ресурсов.

Целью настоящего исследования является проведение обзора современных практик и инструментов, применяемых для обеспечения воспроизводимости в проектах науки о данных, и их анализ с точки

зрения управления жизненным циклом исследовательского проекта в организационных системах.

Материалы и методы исследования

В рамках исследования был проведен систематический обзор более чем 50 публикаций за 2015-2025 годы, направленный на выявление современных организационных практик и инструментов, применяемых для обеспечения воспроизводимости в проектах науки о данных из научных и прикладных публикаций (Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ACM Digital Library, arXiv, PubMed), документации инструментов в науке о данных (DVC, ClearML, Airflow и др.) и открытых репозиториях (GitHub, GitLab). Из них 30 работ легли в основу данного обзора, в рамках которого воспроизводимость трактуется как управляемая характеристика исследовательской деятельности, обеспечиваемая взаимодействием организационных ролей, процессов и программных инструментов. Каждое из решений было сгруппировано по категориям обеспечения воспроизводимости и анализировалось с точки зрения влияния на эффективность организационного управления, включая старт выполнения новых задач, разделение ролей, поддержание стандартов и минимизацию рисков, связанных с человеческим фактором.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках анализа были выделены ключевые управленческие эффекты, отражающие зрелость и полноту поддержки воспроизводимости на уровне организационных решений:

- сокращение затрат ресурсов на типовые операции;
- сокращение затрат ресурсов на коммуникации между сотрудниками и согласование действий команды проекта;
- сокращение рисков из-за человеческого фактора при реализации задач (конфликтов версий, утрат критически важной информации, ручных ошибок).

Также были систематизированы основные категории технических решений, обеспечивающие воспроизводимость методов и результатов, применение которых влияет на перечисленные выше управленческие параметры.

1. Контроль версий и управление изменениями

Контроль версий и управление изменениями в проектах науки о данных выполняют функцию фиксирования состоя-

ния системы на каждом этапе жизненного цикла исследования, а также обеспечения возможности отката, сравнения, воспроизведения и анализа истории изменений. В условиях разработки решения несколькими командами и высокой динамики процессов контроль версий может быть рассмотрен как метод управления изменениями в проекте – позволяет сохранять историю развития проекта, обеспечивать прозрачность решений и обоснованность результатов, дает возможность проводить аудит и верификацию исследовательских действий, сокращает издержки на повторную настройку и поиск ошибок, обеспечивает передачу проекта между участниками без потери знаний.

Можно выделить 3 категории решений контроля версий и управления изменениями.

1.1. Контроль версий кода

Контроль версий кода традиционно осуществляется с использованием Git. Git является стандартом в разработке программного обеспечения и обеспечивает отслеживаемость изменений, совместную работу, откат к предыдущим версиям, проведение код-ревью и автоматизацию процессов [10]. На практике применяются различные модели работы с Git – Trunk-Based Development, Git Flow, GitHub Flow и т.д. Существуют также альтернативные инструменты – mercurial, fossil и прочие, которые менее распространены и могут потребовать больше ресурсов на обучение новых сотрудников. Для автоматизации проверки кода перед коммитами существуют инструменты pre-commit, lefthook, позволяющие запускать тесты, линтеры и другие проверки до фиксации изменений в репозитории. Для стандартизации сообщений коммитов и поддержания единого стиля истории изменений, а также упрощения анализа истории проекта могут применяться инструменты Conventional Changelog, такие как commitizen, commitlint.

1.2. Контроль версий данных

Для обеспечения воспроизводимости исследований необходимо в точности фиксировать версию данных, на которых исследование было проведено [11; 12]. Выделяют три уровня версионирования данных.

1. Версионирование файлов – отслеживание изменений файловых представлений наборов данных. Работать с уровнем версионирования данных позволяет, например, DVC (Data Version Control), где метаданные версий хранятся с помощью Git, а сами данные располагаются в объектных хранилищах.

2. Версионирование на уровне хранилищ – систематизированный контроль версий объектов в системах хранения, включая управление состоянием. Широко распространённым инструментом здесь является LakeFS, который представляет собой систему контроля версий, располагающуюся поверх S3-совместимых хранилищ, и использует Git-терминологию для управления данными: ветки, коммиты, слияния.

3. Версионирование на уровне таблиц и транзакций – версионирование на уровне логических представлений, включая поддержку ACID-транзакций и временных запросов. Одним из наиболее используемых инструментов для поддержки такого версионирования является инструмент Delta Lake, который оптимизирован под эффективное хранение и управление табличными данными [13].

Выбор решения напрямую зависит от специфики данных, используемых в проекте, наличия внешних интеграций с инструментами обработки и требований к транзакционности. Данные решения позволяют обеспечить воспроизводимость исследований, исходя из конкретных версий входных наборов данных [14].

1.3. Контроль версий отчетов об исследованиях

Исследовательские документы, как правило, содержат не только текст, но и исполняемый код, визуализации экспериментов, результаты работы моделей и метаданные. Для создания и распространения отчетов применяются различные инструменты: генераторы отчетов (Jupyter Notebooks, Quarto и Marimo) и системы управления отчетами для структурирования и хранения результатов (ClearML Reports, MLflow Tracking, Weights & Biases Reports). Данные инструменты отличаются степенью интеграции с вычислительной средой, поддержкой воспроизводимости и масштабируемости [15].

Применение инструментов версионирования кода, данных и отчетов позволяет сократить трудозатраты на коммуникации между сотрудниками при постановке новых исследовательских задач на выбранных данных, воспроизведении результатов выполненных работ, а также минимизировать риски утраты артефактов.

2. Управление зависимостями и средами исполнения

Внешними зависимостями являются библиотеки и пакеты, используемые в проекте, а также вся сопутствующая инфраструктура, включая системные библиотеки,

драйверы, компиляторы и аппаратно зависимые компоненты. Ниже рассмотрены основные подходы, направленные на решение задачи управления зависимостями и среды исполнения.

2.1. Управление Python-зависимостями

Для управления зависимостями в Python-проектах используются менеджеры пакетов:

- Pip + requirements.txt – инструмент, в котором указываются фиксированные версии Python-зависимостей. Однако Pip выполняет функции только установки пакетов без менеджмента зависимостей, что не дает отслеживать вложенные зависимости и не может гарантировать однозначного восстановления окружения.

- Poetry, PDM – современные менеджеры пакетов, которые добавляют зависимости в rupoject-файл и однозначно фиксируют версии всех пакетов в lock-файле, что позволяет прозрачно и безопасно управлять изменениями.

- Conda, Mamba – менеджеры пакетов и окружений, которые позволяют управлять не только Python-зависимостями, но и научными и системными пакетами.

- Pixi – современный инструмент управления зависимостями, который обладает функциональностью управления виртуальными окружениями, управления Python-пакетами и научными пакетами, воспроизведения зависимостей при помощи lock файла, сборки и публикации Python и научных пакетов, использования единого файла метаданных rupoject, автоматизации выполнения команд.

2.2. Управление системными зависимостями

При реализации проектов в области науки о данных часто возникает необходимость обеспечения совместимости версий системных компонентов, таких как драйверы, компиляторы и различные библиотеки, которые находятся вне управления менеджерами Python. Особенно это актуально для фреймворков глубокого обучения (например, TensorFlow и PyTorch), где критически важно строго зафиксировать версии компонентов CUDA и cuDNN для обеспечения корректного функционирования приложений. В таких случаях применение системных менеджеров пакетов (например, apt для систем на базе Debian/Ubuntu) является необходимым для корректного управления внешними зависимостями.

2.3. Управление средой исполнения

Использование технологий контейнеризации (Docker, Podman, Dev Containers в VS

Code) позволяет создавать изолированные и воспроизводимые окружения, в которых могут фиксироваться как версии Python-пакетов, так и системных компонентов. Такой комплексный подход способствует снижению вероятности конфликтов версий и обеспечивает стабильность работы программного обеспечения [16; 17].

Для хранения моделей, данных и других артефактов используются как специализированные хранилища (GitLab Registry, Nexus), так и объектные хранилища (S3). Такие системы обеспечивают доступ к артефактам и их интеграцию с CI/CD пайплайнами.

Важной практикой является использование Feature Store – централизованных систем хранения признаков, которые используются повторно в различных моделях, что обеспечивает согласованность признаков на всех этапах жизненного цикла модели [18].

Стандартизация файловой структуры хранения данных и артефактов может достигаться через шаблонные репозитории (Cookiecutter, Copier). Данные инструменты задают общую структуру проекта, включая папки для сырого и обработанного набора данных, моделей, конфигураций и логов экспериментов. Единообразие рабочих окружений обеспечивает согласованность операций чтения и записи в различных средах.

Применение инструментов управления зависимостями и средами исполнения в процессе разработки и эксплуатации решений позволяет уменьшить затраты на коммуникации между сотрудниками при постановке задач и воспроизведении результатов выполненных работ (ревью результатов). Таким образом можно обеспечить стабильность и воспроизводимость вычислительных окружений, снизить риски несовместимости при передаче проекта между участниками. Внедрение таких инструментов позволяет централизованно управлять ресурсами и средами, поддерживая согласованность результатов на протяжении всего жизненного цикла проекта.

3. Оркестрация и автоматизация исследовательских процессов

Автоматизация процессов в исследовательских проектах позволяет стандартизировать и формализовать этапы обработки данных, гарантируя повторяемость результатов при повторном запуске [19; 20]. Основной механизм – построение детерминированных пайплайнов обработки данных с использованием workflow-менеджеров [21].

Среди общих принципов автоматизации можно выделить:

- явное описание зависимостей между этапами обработки и анализа – каждый шаг представляется как независимая единица работы с чётко определёнными входами, выходами и средой;

- поддержку повторного использования и кэширования, если входные данные и конфигурации не изменились;

- отделение логики обработки от окружения исполнения – пайплайн должен быть независим от локальной конфигурации машины;

- интеграцию с системами логирования и мониторинга для отслеживания состояния выполнения шагов и фиксации ошибок.

Для реализации автоматизации существует широкий спектр инструментов:

- пайплайны обработки данных могут быть описаны с помощью DSL-языков или YAML/JSON-конфигураций, что упрощает их чтение и поддержку. Примеры: Snakemake, CWL, Nextflow;

- оркестраторы задач и DAG-системы, такие как Apache Airflow или Luigi, предоставляют расширенные возможности для построения сложных графов зависимостей с возможностью планирования задач, мониторинга и масштабирования;

- системы автоматизации общего назначения (например, GNU Make, CMake, Just) позволяют автоматизировать не только компиляцию программного обеспечения, но и шаги предобработки данных или запуска экспериментов.

Современные системы централизованного управления конфигурациями, такие как Hydra, OmegaConf и Pydantic, позволяют динамически компоновать и валидировать настройки экспериментов. Они дают возможность объединять настройки из различных источников, валидировать и типизировать параметры, а также переопределять параметры без изменения базовых конфигурационных файлов.

Для организации тестирования в изолированных окружениях может использоваться инструмент Tox, который помогает обеспечить стабильность и воспроизводимость экспериментов за счет тестирования в разных виртуальных окружениях.

Применение данных решений позволяет выстраивать четкую ролевую систему с разграничением зон ответственности между исполнителями (исследовательские пайплайны, производственные пайплайны для промышленной эксплуатации), строить воспроизводимые и масштабируемые конвейеры обработки данных, снимая нагрузку с исполнителей и снижая вероят-

ность ошибок, связанных с ручными действиями [22; 23].

4. Стандартизация хранения данных

Одним из ключевых аспектов обеспечения воспроизводимости исследований является стандартизация хранения данных. В условиях многоэтапных вычислительных пайплайнов и командной разработки становится критически важным единообразие в обращении с промежуточными и итоговыми наборами данных.

Установление основного формата хранения данных позволяет упорядочить пайплайны и упростить обмен результатами исследований (например, Parquet, Arrow, CSV). В случае работы со структурированными данными оптимально использование реляционных СУБД для обеспечения единого формата хранения и доступа к данным. При работе с неструктурированными данными возможно использование объектных хранилищ.

Ключевым элементом воспроизводимости является обеспечение возможности установить связь между данными и порождающим их этапом вычислений [24]. Для этого применяются подходы по описанию и версионированию артефактов, включая хранение всех промежуточных результатов и их привязку к этапам исследований; в частности, используются системы каталогизации, такие как DataHub, Amundsen и др., обеспечивающие формирование единой карты зависимости между данными и пайплайнами, которые их порождают [25].

Применение инструментов стандартизации хранения данных позволяет сократить коммуникации, т.к. исследователи работают с данными в одном формате и знают, где и как искать нужные данные, как осуществлять их преобразование, где искать существующие наработки для их переиспользования, а также минимизировать риски, связанные с потерей промежуточных артефактов для получения итоговых моделей и аналитических выводов.

5. Документирование и прозрачность

Документирование процесса и результатов исследований – необходимое условие для обеспечения внутренней прозрачности в команде и внешней воспроизводимости результатов [26; 27]. Современные инструменты позволяют формализовать отчёты, связывая текст с исполняемым кодом и визуализациями. Существуют два распространенных подхода – использование статических отчетных систем (например, Quarto, Sphinx, MkDocs) и динамических платформ (например, ClearML, MLflow). Первый под-

ход ориентирован на генерацию научных отчетов и статической документации с воспроизводимыми блоками кода. Второй обеспечивает онлайн-отслеживание экспериментов, автоматическую фиксацию метрик, артефактов и визуализаций.

Обеспечение прозрачности требует доступности результатов для заинтересованных лиц и достигается путем интеграции отчетов, артефактов и данных в корпоративную инфраструктуру: Confluence, wiki-системы, BI-системы и серверы с отчетами. Наличие централизованного ресурса позволяет отслеживать ход исследований и проводить аудит.

Высокое качество кода критично для интерпретируемости и надёжности. Инструменты проверки качества: статическая проверка типов (myru, pyright), линтеры (Flake8, pylint, ruff), форматтеры (black, isort, ruff) и системы централизованных конфигураций (nitpick), обеспечивают соответствие стилевым и техническим стандартам в проекте.

Унификация проектной структуры через шаблонные репозитории обеспечивает единый подход к ведению документации, кодовому стилю, структуре отчетности и организации вычислений. Это снижает когнитивную нагрузку при переходе между проектами и способствует формированию устойчивой инженерной культуры в командах.

Решения для документирования повышают прозрачность процессов и упрощают аудит как внутри команды, так и для внешних заинтересованных сторон (например, руководства или контролирующих органов), что уменьшает длительность взаимодействия между сотрудниками, например при рецензировании и воспроизведении результатов.

Перечисленные категории инструментов автоматизации обеспечивают реализацию основных управленческих функций: планирования, контроля, документирования и коммуникации. При этом управление инструментами автоматизации становится частью системы управления исследовательской инфраструктурой, поэтому важно рассматривать их не как отдельные изолированные решения, а как компоненты единой организационной системы управления проектами, что обуславливает необходимость их интеграции на организационном уровне. Формализация процессов посредством использования пайплайнов, конфигурационных файлов и шаблонных репозиторий обеспечивает возможность совместной и параллельной работы сотрудников с различными компетенциями,

предоставляя доступ к общим стандартам и унифицированным методикам проверки результатов. Это также позволяет на организационном уровне формально определить роли и зоны ответственности между специалистами, такими как инженеры данных, исследователи данных, ML-инженеры и аналитики данных.

Формальная фиксация результатов исследований предоставляет руководству объективную информацию о прогрессе и качестве выполняемых задач. Такие данные являются основой для принятия решений по приоритизации проектов, перераспределению ресурсов и дополнительному финансированию перспективных направлений. Кроме того, ретроспективные отчёты, фиксирующие всю историю исследований, упрощают стратегическое планирование, позволяя менеджменту анализировать динамику развития и точнее прогнозировать сроки достижения целевых показателей. В результате повышается обоснованность управленческих решений и доверие к итоговым результатам проектов.

Интеграция инструментов контроля версий и оркестрации в корпоративные информационные системы обеспечивает прослеживаемость (traceability) ключевых артефактов исследований, что приносит следующие преимущества [28]:

- возможность демонстрации аудиторским органам или партнёрам исходных данных и параметров, использованных для получения итоговых метрик;
- снижение рисков, связанных с концентрацией критически важной информации у отдельных сотрудников, благодаря формализации и документированию процессов, что позволяет воспроизводить исследования любому члену команды или внешнему подрядчику;
- уменьшение влияния человеческого фактора и вероятности ошибок, связанных с ручными операциями, благодаря автоматизации пайплайнов, использованию CI/CD-практик для ML, автоматическим тестированиям и валидациям;
- повышение прозрачности процессов, способствующее взвешенному управлению рисками и сроками реализации проектов, а также оперативному вмешательству при задержках выполнения отдельных этапов.

Однако ключевым ограничением внедрения инструментов воспроизводимости является необходимость организационных изменений и поддержания новой культуры прозрачности [29; 30]. Внедрение дополнительных процедур документирования и контроля качества может восприниматься

сотрудниками как усложнение рабочих процессов. Эффективность автоматизации зависит от уровня зрелости инфраструктуры и компетенций команды, и при недостаточной поддержке руководства даже современные технические решения могут оказаться неэффективными. Дополнительным барьером является необходимость обучения сотрудников работе с новыми инструментами. При большом количестве сотрудников или частых ротациях персонала передача знаний осложняется, что может приводить к временному снижению производительности до тех пор, пока культура воспроизводимости не станет стандартной практикой.

Перспективным направлением развития организационных практик является интеграция показателей воспроизводимости в систему ключевых показателей эффективности (KPI) исследовательских коллективов и организаций. Например, целесообразно учитывать время развертывания окружения для новых сотрудников, долю полноценно документированных исследований и частоту успешного воспроизведения пайплайнов. Разработка формальных стандартов по аналогии с ISO/IEC для проектов в области анализа данных способствовала бы упрощению процедур аудита и сертификации решений, а также повышению доверия к результатам со стороны заказчиков. Такие стандарты должны включать требования к хранению метаданных, процедурам валидации и документирования, методикам управления качеством данных, а также определению организационных ролей.

Заключение

Проведенный анализ современных практик и инструментов, применяемых для обеспечения воспроизводимости в проектах, связанных с наукой о данных, демонстрирует, что достижение прозрачности, управляемости и эффективности исследовательской деятельности требует интеграции широкого спектра специализированных решений. В связи с этим критически важно не только знание актуальных технологий, но и способность к их обоснованному выбору и координированному применению в рамках единой исследовательской инфраструктуры.

Современные организационно-технические решения позволяют стандартизировать и автоматизировать ключевые аспекты исследовательской работы: обработку данных, управление зависимостями и версиями артефактов, оркестрацию вычислений и документирование процессов. Их применение снижает влияние человеческого фактора, усиливает командную координацию и повышает устойчивость проектов к измене-

ниям в составе участников и конфигурации инфраструктуры и позволяет снизить трудозатраты на выполнение типовых работ и коммуникации.

Эффективность внедрения таких решений во многом определяется готовностью организаций к институциональным изменениям. Необходимы формализация процессов, развитие культуры прозрачности и повышение зрелости инфраструктуры. Основные барьеры носят организационный характер: нехватка компетенций, сопротивление изменениям и отсутствие системной поддержки со стороны управленческих структур.

Возможными направлениями развития являются интеграция существующих инструментов воспроизводимости в единую систему, включающую ключевые показатели эффективности исследовательских коллективов, разработка формальных отраслевых стандартов и методик сертификации проектов науки о данных, а также новых информационных технологий для решения задач управления.

Список литературы

1. Goodman S.N., Fanelli D., Ioannidis J.P.A. What does research reproducibility mean? // *Science Translational Medicine*. 2016. Vol. 8. P. 341. DOI: 10.1126/scitranslmed.aaf5027.
2. Baker M. 1,500 scientists lift the lid on reproducibility // *Nature*. 2016. Vol. 533. P. 452-454. URL: <https://www.nature.com/articles/533452a> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1038/533452a.
3. Munafò M.R., Nosek B.A., Bishop D.V.M., Button K.S., Chambers C.D., Percie du Sert N., Simonsohn U., Wagenmakers E.-J., Ware J.J. Ioannidis J.P.A. A Manifesto for Reproducible Science // *Nature Human Behaviour*. 2017. Vol. 1, Is. 1. URL: <https://www.nature.com/articles/s41562-016-0021> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1038/s41562-016-0021.
4. Stodden V. The data science life cycle: a disciplined approach to advancing data science as a science // *Communications of the ACM*. 2020. Vol. 63, Is. 7. P. 58-66. DOI: 10.1145/3360646.
5. Gundersen O., Kjensmo S. State of the Art: Reproducibility in Artificial Intelligence // *Proceedings – AAAI 2018 at New Orleans. Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence 2018*. 2018. URL: <https://aaai.org/papers/11503-state-of-the-art-reproducibility-in-artificial-intelligence/> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1609/aaai.v32i1.11503.
6. Gundersen O.E., Coakley K., Kirkpatrick C., Gil Y. Sources of Irreproducibility in Machine Learning: A Review // *arXiv:2204.07610v2[cs.LG]*. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2204.07610.
7. Waller L.A., Miller G.W. More than Manuscripts: Reproducibility, Rigor, and Research Productivity in the Big Data Era // *Toxicological Sciences*. 2016. Vol. 149, Is. 2. P. 275-276. URL: <https://academic.oup.com/toxsci/article-abstract/149/2/275/2461691> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1093/toxsci/kfv330.
8. Liu J., Carlson J., Pasek J., Puchala B., Rao A., Jagadish H.V. Promoting and Enabling Reproducible Data Science Through a Reproducibility Challenge // *Harvard Data Science Review*. 2022. Vol. 4, Is. 3. URL: <https://hdr.mitpress.mit.edu/pub/mlconlea> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1162/99608f92.9624ea51.

9. Hernandez J.A., Colom M. Repeatability, Reproducibility, Replicability, Reusability (4R) in Journals' Policies and Software/Data Management in Scientific Publications: A Survey, Discussion, and Perspectives // arXiv preprint arXiv:2312.11028v1. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2312.11028.
10. Chen K.Y., Toro-Moreno M., Subramaniam A.R. GitHub is an effective platform for collaborative and reproducible laboratory research // arXiv preprint arXiv:2408.09344v2. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2408.09344v2> (дата обращения: 26.02.2025).
11. Idowu S., Osman O., Strüber D., Berger T. Machine learning experiment management tools: a mixed-methods empirical study // *Empirical Software Engineering*. 2024. Vol. 29, Is.4. DOI: 10.1007/s10664-024-10444-w.
12. Klump J., Wyborn L., Wu M., Martin J., Downs R.R., Asmi A. Versioning data is about more than revisions: A conceptual framework and proposed principles // *Data Science Journal*. 2021. Vol. 20, Is. 1. P. 12. DOI: 10.5334/dsj-2021-012.
13. Armbrust M., Das T., Sun L., Yavuz B., Zhu S., Murthy M., Torres J., van Hovell H., Ionescu A., Łuszczak A., Świtakowski M., Szafranski M., Li X., Ueshin T., Mokhtar M., Boncz P., Ghodsi A., Paranjpye S., Senster P., Xin R., Zaharia M. Delta Lake: high-performance ACID table storage over cloud object stores // *Proc VLDB Endow*. 2020. Vol. 13, Is. 12. P. 3411-3424. DOI: 10.14778/3415478.3415560.
14. Semmelrock H., Ross-Hellauer T., Kopeinik S., Theiler D., Haberl A., Thalmann S., Kowald D. Reproducibility in Machine Learning-based Research: Overview, Barriers and Drivers // arXiv preprint arXiv:2406.14325. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2406.14325.
15. Arpteg A., Brinne B., Crnkovic-Friis L., Bosch J. Software Engineering Challenges of Deep Learning // 2018 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), Prague, Czech Republic. 2018. P. 50-59. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8498185> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1109/SEAA.2018.00018.
16. Nüst D., Sochat V., Marwick B., Eglén S.J., Head T., Hirst T., Evans B.D. Ten simple rules for writing Dockerfiles for reproducible data science // *PLOS Computational Biology*. 2020. Vol. 16, Is. 11. P. 1-24. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1008316.
17. Chirigati F., Rampin R., Shasha D., Freire J. Re-proZip: Computational Reproducibility with Ease // *Proceedings of the 2016 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, ACM. 2016. P. 2085-2088. DOI: 10.1145/2882903.2899401.
18. Martínez J. de la R., Buso F., Kouzoupis A., Ormenisan A.A., Niazi S., Bzhalava D., Mak K., Jouffrey V., Ronström M., Cunningham R., Zangis R., Mukhedkar D., Khazanchi A., Vlassov V., Dowling J. The Hopworks Feature Store for Machine Learning // *SIGMOD/PODS '24 – Companion of the 2024 International Conference on Management of Data*, Santiago AA, Chile. 2024. P. 135-147. DOI: 10.1145/3626246.3653389.
19. Sculley D., Holt G., Golovin D., Davydov E., Phillips T., Ebner D., Chaudhary V., Young M., Crespo J.-F., Dennison D. Hidden Technical Debt in Machine Learning Systems // *Proceedings of the 29th International Conference on Neural Information Processing Systems* 2015. Vol. 2. P. 2503-2511. DOI: 10.5555/2969442.2969519.
20. Sculley D., Holt G., Golovin D., Davydov E., Phillips T., Ebner D., Chaudhary V., Young M. Machine Learning: The High Interest Credit Card of Technical Debt // *SE4ML: Software Engineering for Machine Learning (NIPS 2014 Workshop)*. 2014. URL: <https://research.google/pubs/machine-learning-the-high-interest-credit-card-of-technical-debt/> (дата обращения: 26.02.2025).
21. Di Tommaso P., Chatzou M., Floden E.W., Barja P.P., Palumbo E., Notredame C. Nextflow enables reproducible computational workflows // *Nature Biotechnology*. 2017. Vol. 35, Is. 4. P. 316-319. URL: <https://www.nature.com/articles/nbt.3820> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1038/nbt.3820.
22. Zaharia M.A., Chen A., Davidson A., Ghodsi A., Hong S.A., Konwinski A., Murching S., Nykodym T., Ogilvie P., Parkhe M., Xie F., Zumar C. Accelerating the Machine Learning Lifecycle with MLflow // *IEEE Data Eng Bull*. 2018. Vol. 41, P. 39-45. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:83459546> (дата обращения: 26.02.2025).
23. Yasmin J., Wang J., Tian Y., Adams B. An Empirical Study of Developers' Challenges in Implementing Workflows as Code: A Case Study on Apache Airflow // *Journal of Systems and Software*. 2024. Vol. 219. DOI: 10.48550/arXiv.2406.00180.
24. Freire J., Koop D., Santos E., Silva C. Provenance for Computational Tasks: A Survey // *Computing in Science and Engineering*. 2008. V. 10, Is. 3, P. 11-21. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4488060> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1109/MCSE.2008.79.
25. Subramaniam P., Ma Y., Li C., Mohanty I., Fernandez R.C. Comprehensive and comprehensible data catalogs: The what, who, where, when, why, and how of metadata management // arXiv preprint arXiv:2103.07532. 2021. DOI: 10.48550/arXiv.2103.07532.
26. Wilson G., Bryan J., Cranston K., Kitzes J., Nederbragt L., Teal T.K. Good enough practices in scientific computing // *PLOS Computational Biology*. 2017. Vol.13, Is.6. P.1-20. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1005510.
27. Pimentel J.F., Murta L., Braganholo L., Freire J. A Large-Scale Study About Quality and Reproducibility of Jupyter Notebooks // *Proceedings – 2019 IEEE/ACM 16th International Conference on Mining Software Repositories*, Montreal, QC, Canada. 2019. P. 507-517. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8816763> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1109/MSR.2019.00077.
28. Amershi S., Begel A., Bird C., DeLine R., Gall H., Kamar E., Nagappan N., Nushi B., Zimmermann T. Software Engineering for Machine Learning: A Case Study // *IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP)*, Montreal, QC, Canada. 2019. P. 291-300. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8804457> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1109/ICSE-SEIP.2019.00042.
29. Salama Kh., Kazmierczak, J., Schut D. Practitioners Guide to MLOps: A Framework for Continuous Delivery and Automation of Machine Learning // *Google Cloud White Paper*. 2021. 37 p. URL: https://services.google.com/fh/files/misc/practitioners_guide_to_mlops_whitepaper.pdf (дата обращения: 26.02.2025).
30. Treveil M., Omont N., Stenac C., Lefevre K., Phan D., Zentici J., Lavoillotte A., Miyazaki M., Heidmann L. Introducing MLOps: How to Scale Machine Learning in the Enterprise. O'Reilly Media, 2020. 183 p.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 681.51:676.082.4
DOI 10.17513/snt.40400

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ
И УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА
В СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННЫХ КОТЛОАГРЕГАТАХ**

¹Русинов Л.А., ¹Прылипко Е.С., ²Ковалев Д.А.

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)», Санкт-Петербург, e-mail: naukaegorp@gmail.com;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий
и дизайна», Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербург

Процесс сжигания черного щелока в содорегенерационных котлоагрегатах играет ключевую роль в обеспечении замкнутого цикла химической регенерации щелоков на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. Цель исследования – разработка архитектуры интеллектуальной системы диагностики нарушений процесса сжигания черного щелока с учетом современных тенденций развития автоматизации и цифровизации в рамках концепции «умного производства». Анализ выполнен в соответствии с принципами подготовки обзоров по протоколу PRISMA. Поиск источников проводился в международных и российских базах данных (Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore, Google Scholar) за период с 2010 по 2024 г. Были проанализированы 127 публикаций, из которых 37 отобраны для включения в список литературы. В ходе обзора классифицированы методы диагностики (моделирование, экспертные системы, машинное обучение, техническое зрение), обобщены их преимущества и ограничения, выделены параметры с высокой диагностической значимостью. Проведено сопоставление подходов по степени адаптивности, чувствительности и применимости в условиях ограниченной наблюдаемости. Предложена модульная архитектура интеллектуальной системы диагностики, объединяющая цифровые и визуальные признаки, с возможностью переобучения и адаптации к реальным условиям эксплуатации. Интеграция методов машинного обучения и технического зрения в SCADA-контур позволяет повысить чувствительность диагностики, своевременно выявлять нарушения и поддерживать устойчивость режима сжигания. Разработанная архитектура может быть использована на предприятиях отрасли для повышения эффективности и надежности работы содорегенерационных котлов.

Ключевые слова: содорегенерационный котлоагрегат, черный щелок, система диагностики, машинное обучение, техническое зрение, предиктивный контроль

**TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC
AND CONTROL SYSTEMS FOR THE BLACK LIQUOR
COMBUSTION PROCESS IN RECOVERY BOILERS**

¹Rusinov L.A., ¹Prylipko E.S., ²Kovalev D.A.

¹Saint Petersburg State Institute of Technology, Saint Petersburg,
e-mail: naukaegorp@gmail.com;

²Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg

The combustion of black liquor in recovery boilers plays a crucial role in maintaining the closed-loop chemical regeneration cycle of alkali streams in the pulp and paper industry. The aim of this study is to develop an architecture for an intelligent diagnostic system to detect disturbances in the black liquor combustion process, taking into account current trends in automation and digitalization within the framework of smart manufacturing. The analysis was conducted in accordance with the PRISMA review protocol. Literature was retrieved from both international and Russian databases (Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore, Google Scholar) for the period 2010–2024. A total of 127 publications were reviewed, with 37 selected for inclusion in the final reference list. The review classified diagnostic methods (mathematical modeling, expert systems, machine learning, and computer vision), summarized their strengths and limitations, and identified parameters with high diagnostic significance. The approaches were compared in terms of adaptability, sensitivity, and applicability under conditions of limited observability. A modular architecture is proposed for an intelligent diagnostic system that integrates both digital and visual features, with capabilities for model retraining and adaptation to real operational conditions. The integration of machine learning and computer vision methods into the SCADA environment improves diagnostic sensitivity, enables timely detection of anomalies, and supports combustion stability. The proposed architecture can be implemented at pulp and paper industry facilities to enhance the efficiency and reliability of recovery boiler operations.

Keywords: recovery boiler, black liquor, automated diagnostics, machine learning, computer vision, predictive control

Введение

Цикл регенерации щелоков сульфат-целлюлозного производства (рис. 1) включает в себя: варку щепы и промывку целлюлозы с получением слабого черного щелока, который подается на выпарку; после выпарки концентрированный черный щелок подается на сжигание в содорегенерационный котлоагрегат (СРК). После сжигания черного щелока в СРК полученный плав растворяют слабым белым щелоком, в результате получают зеленый щелок. Осветленный зеленый щелок после процесса каустизации, промывки известкового шлама и его сжигания в известерегенерационной печи преобразуется в белый щелок, который снова подается на варку щепы.

Ключевым узлом цикла регенерации щелоков является СРК, предназначенный для термической утилизации черного щелока, регенерации неорганических соединений и одновременного производства пара.

Системный анализ структуры СРК позволяет выделить ряд функциональных подсистем, таких как подготовка черного щелока к сжиганию, организация подачи воздуха, процессы сжигания в топке, парообразование, очистка дымовых газов и восстановление зеленого и белого щелока. Каждая из подсистем представляет собой отдельный объект управления со специфическими управляющими и возмущающими воздействиями [1–3].

Настоящее исследование сосредоточено на анализе подсистемы сжигания черного щелока в топке, являющейся центральным

звеном термохимического преобразования щелока. В пределах данной подсистемы последовательно реализуются процессы испарения влаги, пиролиза, горения и восстановления, от эффективности которых зависят такие показатели, как степень восстановления сульфатов, формирование огарка, температурно-пылевой режим в топке и устойчивость теплового процесса в целом.

Подсистема отличается высокой динамичностью, нелинейностью процессов, ограниченной наблюдаемостью и существенной зависимостью от входных параметров смежных технологических цепочек. Стандартные средства автоматического управления и мониторинга обеспечивают контроль лишь ограниченного числа измеряемых параметров (давление, температура, плотность, состояние запорно-регулирующей арматуры), не позволяя получать полную информацию о текущем состоянии зоны горения.

В связи с этим актуальной становится задача применения существующих методов для разработки системы автоматизированной диагностики нештатных ситуаций на основе анализа большого количества взаимосвязанных технологических параметров. Наибольший интерес в этом контексте представляют подходы, основанные на методах машинного обучения, включая как классические алгоритмы, так и нейросетевые модели, обладающие способностью к обобщению закономерностей и выявлению аномальных режимов при частичной наблюдаемости объекта [4–6].

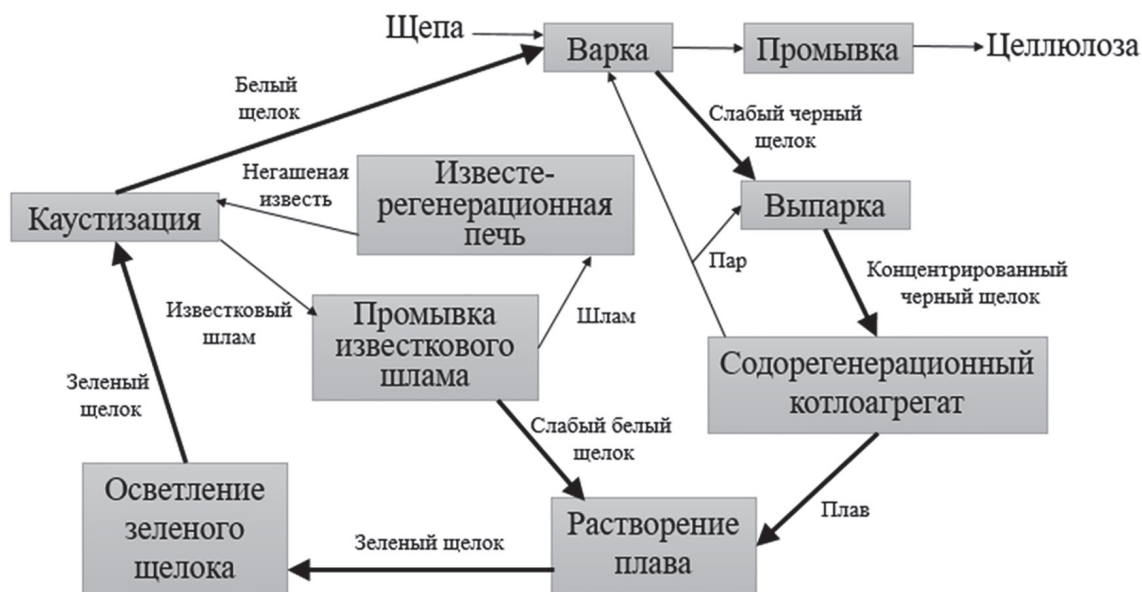


Рис. 1. Общая схема регенерации щелоков сульфат-целлюлозного производства
Источник: составлено авторами

Подсистема сжигания черного щелока представляет собой функционально обособленный компонент СРК, в пределах которого реализуются ключевые термохимические процессы, обеспечивающие термическое разложение органической фазы и восстановление неорганической составляющей черного щелока. Структурно подсистема включает: систему подачи и распыления щелока (форсунки, сопла, кольца распыления), камеру сгорания (топку), зону формирования подушки огарка, систему подачи воздуха (первичного, вторичного и третичного) и каналы отвода газообразных продуктов горения. Эффективность ее функционирования определяет энергетические, технологические и экологические показатели работы СРК в целом.

Процесс сжигания включает следующие стадии:

- диспергирование черного щелока с формированием факела сгорания;
- испарение влаги и термоллиз органических веществ;
- сгорание летучих и пиролизных газов;
- образование подушки огарка на поверхности пода;
- восстановление неорганических соединений (в первую очередь сульфатов до сульфидов) в зоне ограниченного доступа кислорода.

Внутри топочной камеры протекают многофазные и многокомпонентные процессы, характеризующиеся интенсивными тепло- и массообменными взаимодействиями, высокими температурами (до 1200 °С),

турбулентными режимами и сильной пространственной неравномерностью параметров. Это обуславливает высокие требования к системам контроля и диагностики, особенно в условиях ограниченного физического доступа к основным зонам камеры и агрессивной среды эксплуатации.

Подсистема сжигания относится к классу трудно наблюдаемых объектов с распределенными параметрами, поскольку не все критически важные характеристики доступны для прямого измерения в режиме реального времени.

На практике осуществляется контроль ограниченного набора диагностически значимых параметров, получаемых из SCADA-систем и контуров управления. Примеры контролируемых параметров для реальных объектов управления – СРК приведены в табл. 1.

Диагностика процесса сжигания усложняется рядом факторов:

- высокой неоднородностью распределения температуры и состава газов по объему топки;
- постоянным изменением характеристик черного щелока, поступающего на сжигание (влажность, вязкость, состав);
- инерционностью и взаимосвязанностью управляющих воздействий (например, изменение подачи воздуха влияет на горение, восстановление и унос пыли);
- отсутствием прямых онлайн-измерений ряда ключевых параметров (толщина и форма подушки огарка, температура внутри слоя, равномерность факела) [7, с. 110–125].

Таблица 1

Ключевые параметры процесса сжигания и особенности их диагностики

Параметр	Физическое значение	Методы измерения/оценки	Диагностическая значимость
Температура в зонах топки	Температурное поле, наличие перегревов и ям	Термопары, пирометры, тепловизоры	Идентификация зон неполного сгорания, перегрева, восстановления
Плотность черного щелока	Физико-химическое состояние топлива	DCS-данные, корреляционные методы	Признак стабильности свойств поступающего топлива
Расход щелока и мазута	Массовый/объемный расход по направлениям	Расходомеры, архивные данные	Диагностика нарушений подачи и несоответствия режимов
Давление и температура в кольце	Параметры распыла в зоне подачи	Манометры, термопары	Признак равномерности подачи и качества распыления
Уровень и температура в баках	Гидравлический режим подпитки	Датчики уровня и температуры	Идентификация сбоя питания, признаков завоздушивания
Состав отходящих газов	Концентрации O ₂ , CO, SO ₂ , H ₂ S	Газоанализаторы, хроматография	Признак полноты сжигания и эффективности восстановления
Геометрия подушки огарка	Толщина, равномерность, форма	ТВ-наблюдение, экспертная оценка	Оценка устойчивости восстановительной зоны

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Характеристика подсистемы сжигания
как объекта автоматизированной диагностики

Характеристика	Описание
Тип объекта	Многофазный, распределенный по объему, с внутренними обратными связями
Динамические свойства	Высокая инерционность, сильные перекрестные влияния между входами и выходами
Степень измеряемости параметров	Частично наблюдаемый, часть параметров – только косвенно или визуально
Основные возмущающие воздействия	Изменение состава щелока, нестабильность распыла, колебания температуры
Трудности диагностики	Недоступность прямых измерений, шумность данных, агрессивная среда

Источник: составлено авторами.

Эти особенности позволяют отнести подсистему сжигания к классу сложных слабо наблюдаемых объектов с распределенными параметрами. Характеристика объекта с диагностической точки зрения обобщена в табл. 2.

Таким образом, подсистема сжигания черного щелока характеризуется высокой чувствительностью к режимным параметрам и ограниченными возможностями традиционного контроля. Это определяет необходимость применения комплексных диагностических систем, способных к анализу многомерных и динамически изменяющихся данных, а также к работе в условиях неполной или искаженной информации [8–10].

Цель исследования – разработка архитектуры автоматизированной системы диагностики технологических нарушений в процессе сжигания черного щелока на базе интеграции трех взаимодополняющих подходов: физико-математического моделирования, технического зрения и методов машинного обучения.

В качестве ключевой задачи рассматривается создание модульной структуры, способной обрабатывать гетерогенные данные, поступающие из SCADA-систем, контуров измерений и видеонаблюдения, а также формировать диагностические выводы при неполной или искаженной информации. Предполагается, что использование адаптивных моделей, основанных на архивных и текущих данных, обеспечит устойчивую работу системы в условиях переменных режимов, шумных измерений и отсутствия прямого доступа к критически важным параметрам.

Отдельное внимание уделяется разработке диагностических признаков, чувствительных к ранним отклонениям процесса и пригодных для интерпретации в реальном времени. Предлагаемая система ориенти-

рована на информационно-советующий режим эксплуатации и направлена на повышение надежности, адаптивности и прозрачности мониторинга подсистемы сжигания.

Материалы и методы исследования

Обзорная часть исследования подготовлена в соответствии с принципами систематических обзоров, изложенными в протоколе PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [11, 12].

Поиск научной литературы проводился в ряде авторитетных международных и российских баз данных, включая Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, IEEE Xplore, Google Scholar, а также российские индексируемые журналы, входящие в перечень ВАК. Временной интервал для поиска источников составил 2010–2024 гг., с акцентом на публикации последних пяти лет (2020–2024).

В процессе подготовки обзора было проанализировано 127 источников, из которых 37 наименований были отобраны для включения в список литературы на основании их научной значимости, актуальности, репутации изданий и доступности первоисточников. Отбор публикаций проводился с учетом следующих ключевых слов (на русском и английском языках): сжигание черного щелока, содорегенерационный котлоагрегат, машинное обучение, техническое зрение, диагностика процессов, SCADA, predictive diagnostics, black liquor combustion, recovery boiler, computer vision, machine learning in pulp industry.

Дополнительно применялись критерии исключения: из рассмотрения исключались публикации, не содержащие технических или диагностических решений для химико-технологических процессов, а также источники без возможности провер-

ки или без наличия постоянного DOI/URL-идентификатора. Предпочтение отдавалось статьям, опубликованным в рецензируемых журналах, индексируемых в Scopus и WoS, а также в изданиях с академической репутацией в области целлюлозно-бумажной промышленности и автоматизации.

Результаты исследования и их обсуждение

Диагностика процесса сжигания черного щелока основывается на оценке совокупности технологических параметров, отражающих стабильность, полноту и эффективность протекания термохимических реакций в камере сгорания СРК. Подсистема сжигания представляет собой сложный объект с множеством взаимосвязанных элементов: резервуары и насосы подачи черного щелока, теплообменники, узлы распыления, система воздухоподачи, заслонки, фор-

сунки, камера сгорания и контуры отвода продуктов сгорания. Надежность и устойчивость работы этой подсистемы во многом определяются качеством контроля ее динамических характеристик и своевременностью реагирования на отклонения.

Типовая схема автоматизации полностью поддерживает сбор данных по всем основным группам параметров, необходимым для технической диагностики, и визуализирует их в реальном времени [13–15].

К основным группам диагностических признаков можно отнести параметры, характеризующие качество подготовки и подачи черного щелока на сжигание, эффективность распыления, устойчивость горения, состояние восстановительных зон и полноту сгорания. Контроль этих параметров позволяет своевременно обнаруживать отклонения, предшествующие нарушениям технологического режима (табл. 3).

Таблица 3

Нарушения и диагностические параметры процесса сжигания черного щелока в СРК

Нарушение	Диагностические параметры	Возможное следствие
Переохлаждение черного щелока	Температура щелока в кольце $\downarrow < 125\text{ }^{\circ}\text{C}$; давление мазута $\uparrow$; расход щелока колеблется	Снижение полноты сгорания, увеличение расхода мазута
Избыточная плотность щелока	Плотность щелока $> 75\%$; разница между плотномерами $\uparrow$; давление на кольце $\uparrow$	Нарушение распыла, отложения на стенках
Плохой распыл (недостаток пара)	Давление пара НД $\downarrow < 6$ бар; температура щелока в кольце $\uparrow$; нестабильный расход щелока	Формирование крупных капель, ухудшение восстановления
Засорение или нестабильность форсунок	Колебания давления щелока; разница плотномеров $\uparrow$; проводимость стоков $\uparrow$	Нестабильность факела, ухудшение горения
Избыточная подача мазута	Расход мазута $\uparrow$ при наличии щелока; температура мазута $\uparrow > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	Переобогащение топлива, неэффективный режим
Отключение подачи щелока	Расход щелока $\rightarrow 0$; давление щелока падает; температура в баке смесителе $\downarrow$	Потеря основного топлива, аварийный переход на мазут
Утечка в дренаж	Проводимость стоков $\uparrow$; стабильный уровень в дренажном баке при отсутствии подачи щелока	Потеря материала, нарушение герметичности
Нестабильность воздуха на распыл	Давление воздуха КИП колеблется; снижение ниже 5 бар	Нестабильность пламени, снижение степени восстановления
Нестабильность мазута	Давление мазута колеблется; расход нестабилен	Колебания тепловой мощности, нестабильный режим розжига
Неэффективное испарение щелока	Температура в баке смесителе $\downarrow$; плотность щелока $\downarrow$; расход щелока $\uparrow$	Рост нагрузки на зону испарения, снижение тепловой эффективности
Разбалансировка подачи пара и щелока	Давление пара $\downarrow$; расход щелока $\uparrow$; плотность щелока $\uparrow$	Ухудшение дисперсии, рост размеров капель, снижение полноты сгорания
Нарушение паротеплового баланса	Давление пара $\uparrow$; температура в кольце $\uparrow$; расход мазута $\uparrow$	Риск перегрева форсунок, неэффективный режим
Скрытая утечка щелока в слив	Расход щелока стабильный; проводимость стоков $\uparrow$; температура в баке смесителе $\downarrow$	Потеря материала, снижение давления, ухудшение контроля подачи
Чрезмерный расход мазута при наличии щелока	Расход щелока стабильный; расход мазута $\uparrow$; температура мазута $\uparrow$	Перерасход топлива, неэффективное сжигание щелока

Источник: составлено авторами.

Представленный набор диагностических параметров охватывает ключевые аспекты функционирования подсистемы сжигания черного щелока: подготовку и подачу топлива, устойчивость распыла, работу форсунок и воздухоподачи, а также наличие отклонений, связанных с паротепловым балансом и герметичностью контуров. Эти признаки позволяют не только фиксировать факт нарушения режима, но и выявлять его первопричины до наступления критических состояний [16–18].

Для повышения чувствительности системы диагностики и надежности прогнозных моделей целесообразно расширить базу входных данных за счет включения параметров теплового поля, состава отходящих газов (CO , CO_2 , O_2), а также геометрии подушки огарка. Такие признаки отражают пространственные и химические характеристики процесса и позволяют дополнительно верифицировать выводы интеллектуальных моделей.

Современные системы автоматизированной диагностики, предназначенные для контроля процесса сжигания черного щелока, применяют как классические, так и интеллектуальные методы анализа данных. Выбор подхода зависит от доступных параметров, характера технологических отклонений и требуемой оперативности реагирования [19–21].

Одним из первых подходов, получивших широкое применение в инженерной практике, являются физико-математические модели, описывающие процессы горения органической фракции и восстановления неорганических соединений в зоне сжигания черного щелока. Такие модели основаны на решении уравнений тепломассопереноса, кинетики восстановления сульфатов до сульфидов и расчете температурных полей в топке. В работах [22, 23] представлены численные схемы расчета восстановительной зоны, включающие оценку поведения Na_2SO_4 в зависимости от температуры, стехиометрии воздуха и состава топлива. Подобные модели позволяют прогнозировать степень восстановления, риск образования сероводорода и выход за пределы температурных допусков. Несмотря на высокую точность при стабильных режимах, их внедрение в эксплуатационные системы затруднено из-за чувствительности к изменению входных параметров и необходимости точной настройки теплофизических характеристик щелока.

Экспертные системы нашли применение на целлюлозно-бумажных комбинатах Финляндии, где в рамках SCADA были реализованы алгоритмы на базе логических

правил. Например, при снижении давления пара и одновременном росте температуры щелока система автоматически формирует предупреждение о риске ухудшения распыла. Такой подход позволяет формализовать практический опыт операторов и обеспечить быстрое реагирование на повторяющиеся технологические события. Однако при появлении новых комбинаций отклонений без предварительной настройки такие системы не срабатывают [24, 25].

Методы машинного обучения демонстрируют высокую чувствительность и устойчивость к нестабильным режимам. В исследовании, опубликованном в 2023 г., была разработана модель виртуального датчика на основе алгоритма XGBoost для прогнозирования выбросов NO_x в дизельных двигателях. Модель показала высокую точность при стационарных условиях (до 98 %) и удовлетворительную точность в динамических условиях (около 85 %). Несмотря на то, что работа была ориентирована на газообразные выбросы, метод легко адаптируется к задаче прогнозирования других параметров – например, степени восстановления, выходов угарного газа или эффективности распыла – при наличии размеченной исторической выборки [26].

Также в 2023 г. было проведено исследование, направленное на прогнозирование теплотворной способности черного щелока (BPR) с использованием моделей машинного обучения. В частности, в исследовании, опубликованном в 2023 г., были применены различные модели машинного обучения, включая нейронные сети и градиентный бустинг, для прогнозирования параметров черного щелока на основе данных, полученных с целлюлозно-бумажных комбинатов. Результаты показали, что модели машинного обучения обеспечивают высокую точность прогнозирования, что позволяет оперативно корректировать параметры сжигания и повышать эффективность работы котлов. Это исследование подчеркивает потенциал применения машинного обучения для улучшения диагностики и управления процессом сжигания черного щелока [27].

Методы технического зрения применяются при наличии визуального доступа к камере сгорания и используются для контроля симметрии факела, наличия засоров, состояния футеровки и смещения зоны горения. На практике широкое распространение получили инфракрасные камеры, обеспечивающие наблюдение за температурными аномалиями и визуально определяемыми нарушениями, которые не фиксируются

традиционными датчиками. Например, инфракрасные камеры серии CFIR, разработанные компанией Bass Electronics, успешно применяются на содорегенерационных котлах для анализа распределения пламени, выявления засоров в форсунках и контроля равномерности горения. Такие камеры интегрируются в систему управле-

ния и позволяют оператору отслеживать развитие отклонений в режиме реального времени, значительно повышая диагностическую чувствительность системы и снижая вероятность скрытых нарушений [28].

Краткая сравнительная характеристика используемых в диагностике состояния СРК методов представлена в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительная характеристика методов диагностики

Метод	Основные достоинства	Основные ограничения
Физико-математические модели	Высокая точность; интерпретируемость; применимы при стабильных режимах	Требуют точных данных; чувствительны к изменению состава; сложны в калибровке
Экспертные системы	Простота внедрения; формализованный опыт; высокая воспроизводимость	Не адаптируются к новым ситуациям; ограничены заранее заданными сценариями
Машинное обучение	Высокая чувствительность; способность к адаптации; прогнозирование	Требуют исторических данных; требуют интерпретации и контроля качества выборки
Техническое зрение (ИК)	Прямая оценка визуальных нарушений; дополняет недоступные измерения	Высокая стоимость; необходимость в обслуживании; сложность алгоритмов обработки видео

Источник: составлено авторами.

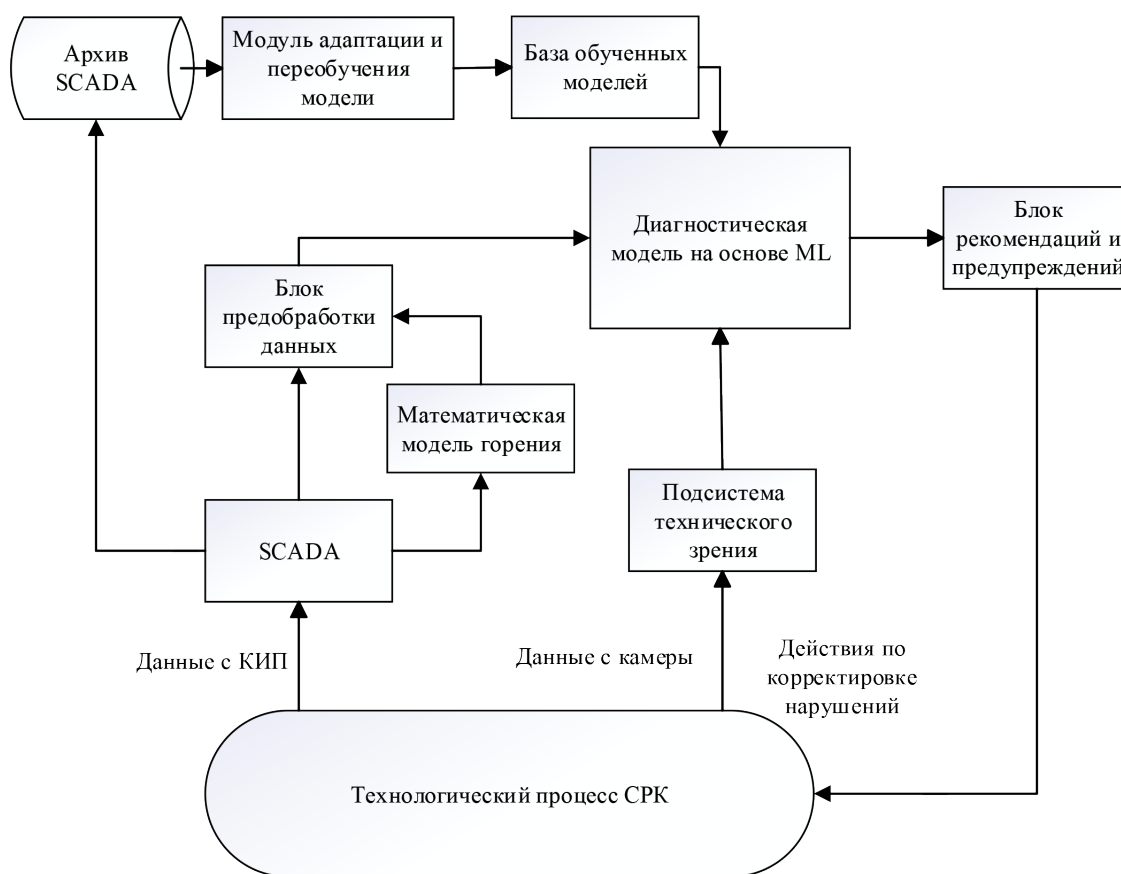


Рис. 2. Архитектура автоматизированной системы диагностики процесса сжигания черного щелока в топке СРК

Источник: составлено авторами

Применение моделей машинного обучения для диагностики процесса сжигания черного щелока требует четко организованной архитектуры, способной обрабатывать как цифровые сигналы от КИП, так и визуальные признаки, поступающие с видеокамер. Предлагаемая архитектура реализована в виде модульной системы, интегрированной в SCADA-контроль и обеспечивающей полный цикл: от сбора данных и предобработки до диагностики, генерации рекомендаций и автоматической коррекции (рис. 2).

Данные от КИП, включая температуру щелока и камеры сгорания, давление пара и воздуха, плотность щелока, параметры распыла и состав дымовых газов, передаются в SCADA-систему. Далее они направляются в блок предобработки, где проходят очистку, агрегацию, нормализацию и преобразование в диагностические признаки. Параллельно с этим видеопотоки с камеры, установленной в зоне горения, поступают в подсистему технического зрения. Здесь выделяются визуально определяемые отклонения: асимметрия пламени, засоры, смещение зоны восстановления и др. Эти признаки также подаются в диагностическую модель [29–31].

Диагностическая модель, построенная на алгоритмах машинного обучения, обрабатывает оба вида входных данных и формирует вероятностный вывод о наличии отклонений, степени риска или прогнозе по ключевым параметрам – например, вероятности снижения восстановления или перегрева. Выходной сигнал направляется в блок рекомендаций и предупреждений, где формируются сообщения для оператора или автоматические команды на корректировку режима (например, снижение подачи вторичного воздуха или промывка форсунок) [32–34].

Особенностью архитектуры является наличие механизма переобучения модели: накопленные исторические данные из архива SCADA передаются в модуль адаптации, где обновляются параметры модели. Это позволяет поддерживать высокую точность прогнозов в условиях изменяющихся свойств щелока, вариативности загрузки котла и переходных режимов. База обученных моделей обновляется с учетом новых данных, что обеспечивает устойчивость системы в долгосрочной перспективе [35–37].

Математическая модель горения, встроенная в архитектуру, выполняет функцию эталонного слоя: она позволяет сравнивать расчетные и фактические параметры, выявлять скрытые отклонения и использовать эти данные как дополнительный источник информации для обучения модели [38, 39].

Заключение

Проведенное исследование посвящено решению актуальной задачи повышения надежности и эффективности функционирования подсистемы сжигания черного щелока в составе содорегенерационного котлоагрегата. Анализ существующих подходов выявил ограничения традиционных методов контроля, обусловленные сложностью процессов горения, высокой вариативностью свойств топлива и ограниченной наблюдаемостью ключевых параметров.

В результате обзора обоснована целесообразность внедрения гибридной архитектуры автоматизированной системы диагностики, сочетающей данные SCADA-систем, методы машинного обучения, математическое моделирование и техническое зрение. Предложенная структура включает модули сбора, синхронизации и анализа данных, что обеспечивает своевременное обнаружение и интерпретацию отклонений в режиме реального времени. Важным компонентом является механизм адаптации и переобучения, позволяющий поддерживать актуальность моделей при изменении технологических условий.

Предложенная архитектура может быть использована в качестве методологической основы при разработке интеллектуальных систем диагностики нарушений процесса сжигания черного щелока. Ее применение потенциально позволит повысить чувствительность к отклонениям, улучшить интерпретируемость диагностических решений и обеспечить адаптивность системы к изменяющимся условиям эксплуатации. Результаты работы могут быть востребованы при проектировании информационно-советующих подсистем в рамках цифровизации технологических переделов целлюлозно-бумажных производств.

Список литературы

1. Анишкин С.С., Куров В.В. Рекуперация и очистка газовых выбросов целлюлозного производства // Известия вузов. Лесной журнал. 2024. № 1. С. 182–194. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-182-194.
2. Van Duc Long N., Lee D.Y., Kwag C., Lee Y.M., Lee S.W., Lewis D., Rebrov E.V., Hessel V., Lee M. Removal of marine NO_x, SO_x and CO₂ from flue gas: Simulation and experiment on a pilot plant // Separation and Purification Technology. 2025. Vol. 359, Is. 2. Article 130558. DOI: 10.1016/j.seppur.2024.130558.
3. Ковалев Д.А., Русинов Л.А., Куркина В.В. Разработка диагностической модели для подсистем содорегенерационного котлоагрегата // Системный синтез и прикладная синергетика: материалы XI Всероссийской научной конференции. СПб.: СПбГТИ, 2022. С. 40–45. DOI: 10.18522/syssyn-2022-6.
4. Paoliello F. Corrosion damage and in-service inspection of retractable sootblower lances in recovery boilers // TAPPI Journal. 2021. Vol. 20, Is. 10. P. 655–662. DOI: 10.32964/tj20.10.655.
5. Dhivakar S., Sureshkumar T. Hazards identification in soda recovery boiler // International Research Journal of Engineering and Technology. 2020. Vol. 7, Is. 8. P. 3872–3874.

6. Kovalev D.A., Rusinov L.A. Increase in environmental safety of recovery boiler // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 990, Is. 1. 012068. DOI: 10.1088/1755-1315/990/1/012068.
7. Сиваков В.П., Вураско А.В., Музыкантова В.И. Регенерация химикатов и тепла в сордерегенерационных котлоагрегатах. Устройство и диагностирование: учебное пособие. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2015. 141 с.
8. Vakkilainen E.K., Hamaguchi M. Evaluation of the energy efficiency improvement potential through back-end heat recovery in the Kraft recovery boiler // *Energies*. 2021. Vol. 14, Is. 6. Article 1550. DOI: 10.3390/en14061550.
9. Ali R.H., Abdel Same A.A., Attalla M., Maghraby H.M. Energy and exergy analysis of cogeneration system in pulp and paper industry with chemical recovery of black liquor and soda // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023. Vol. 42. Article 102712. DOI: 10.1016/j.csite.2023.102712.
10. Lejeune M., Lozin V., Lozina I., Ragab A., Yakut S. Recent advances in the theory and practice of logical data analysis // *European Journal of Operational Research*. 2019. Vol. 275. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.06.011.
11. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., Shamseer L., Tetzlaff J.M., Akl E.A., Brennan S.E., Chou R., Glanville J., Grimshaw J.M., Hróbjartsson A., Lalu M.M., Li T., Loder E.W., Mayo-Wilson E., McDonald S., McGuinness L.A., Stewart L.A., Thomas J., Tricco A.C., Welch V.A., Whiting P., Moher D. The PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews // *BMJ*. 2021. Vol. 372. Article n160. DOI: 10.1136/bmj.n160.
12. Rethlefsen M.L., Kirtley S., Waffenschmidt S., Ayala A.P., Moher D., Page M.J., Koffel J.B. PRISMA-S: an extension to the PRISMA statement for reporting literature searches in systematic reviews // *Systematic Reviews*. 2021. Vol. 10. Article 39. DOI: 10.1186/s13643-020-01542-z.
13. Damasceno A., Carneiro L., Andrade N., Vasconcelos S., Brito R., Brito K. Simultaneous prediction of steam production and recovery efficiency in pulp and paper process boilers // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 275. Article 124103. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124103.
14. Rahman M., Dahlquist E., Kyprianidis K. Modelling and diagnostics of process faults in continuous pulp digesters // *Computers & Chemical Engineering*. 2022. Vol. 157. Article 107589. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2021.107589.
15. Salmenoja K. Development of Kraft Recovery Boilers – What Have Been the Main Development Steps? // *Proceedings of the TAPPI PEERS Conference*, St. Louis (MO, USA), 27–30 Oct 2019. Atlanta: TAPPI Press, 2019. P. 1–16.
16. Sandström L., Backman R., Hupa M. Inorganic chemistry during pyrolysis, gasification, and oxyfuel conversion of black liquor // *Energy & Fuels*. 2024. Vol. 38, Is. 6. P. 4165–4177. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.3c05031.
17. Santos M.P.S., Manovic V., Hanak D.P. Black liquor gasification with calcium looping for carbon-negative pulp and paper industry // *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2021. Vol. 110. Article 103436. DOI: 10.1016/j.ijggc.2021.103436.
18. Han S., Wang P., Zhang C., Wang J. Fault diagnosis of dynamic chemical processes based on improved residual network combined with a gated recurrent unit // *ACS Omega*. 2025. Vol. 10, Is. 9. P. 8859–8869. DOI: 10.1021/acsomega.4c03757.
19. Kayal B., Nasr Y., El Zakhem H., El Bachawati M. Optimizing brown stock washing in the pulp and paper industry: a system dynamics approach // *Processes*. 2025. Vol. 13, Is. 2. Article 368. DOI: 10.3390/pr13020368.
20. Saari J., Kaikko J., Sermiyagina E., Hamaguchi M., Cardoso M., Vakkilainen E., Haider M. Recovery boiler back-end heat recovery // *TAPPI Journal*. 2023. Vol. 22, Is. 3. P. 174–183. DOI: 10.32964/tj22.3.174.
21. Yu J., Zhang Y. Challenges and opportunities of deep learning-based process fault detection and diagnosis: a review // *Neural Computing & Applications*. 2023. Vol. 35. P. 211–252. DOI: 10.1007/s00521-022-08017-3.
22. Laitinen A., Laurila E., Keskinen K., Vuorinen V. Large-Eddy Simulation of two secondary air supply strategies in kraft recovery boilers // *Applied Thermal Engineering*. 2022. Vol. 216. Article 119035. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119035.
23. Da Silva P.S.P., Engblom M., Brink A., Hupa L. Fuel and thermal NO formation during black liquor droplet pyrolysis with envelope flame // *Fuel*. 2020. Vol. 271. Article 117512. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.117512.
24. Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee (BLRBAC). Recommended guidelines for personnel safety for black liquor recovery boilers. Atlanta: BLRBAC, 2018. 46 p. URL: <https://blrbac.net/wp-content/uploads/2020/10/personnel-safety-april-2018.pdf> (дата обращения: 30.04.2025).
25. Belisario A.B., Edberg A., Björk M., Almeida G.M., Vakkilainen E.K. On the diagnosis of a fouling condition in a kraft recovery boiler: combining process knowledge and data-based insights // *TAPPI Journal*. 2023. Vol. 22, Is. 3. P. 162–171. DOI: 10.32964/tj22.3.162.
26. Sun J., Gong Z., Zhao D., Wang H., Li Z. Data-driven model for real-time estimation of NOx in a heavy-duty diesel engine // *Energies*. 2023. Vol. 16, Is. 5. Article 2125. DOI: 10.3390/en16052125.
27. Ng J., Lawryshyn Y., DeMartini N. Comparing classic time-series models and state-of-the-art time-series neural networks for forecasting as-fired liquor properties // *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 2024. Vol. 40, Is. 1. P. 33–45. DOI: 10.1515/nppj-2024-0025.
28. Kienberger M., Maitz S., Pichler T., Demmelmayr P. Systematic review on isolation processes for technical lignin // *Processes*. 2021. Vol. 9, Is. 5. Article 804. DOI: 10.3390/pr9050804.
29. Rajan K., Berton P., Rogers R.D., Shamshina J.L. Is Kraft pulping the future of biorefineries? A perspective on the sustainability of lignocellulosic product development // *Polymers*. 2024. Vol. 16, Is. 23. Article 3438. DOI: 10.3390/polym16233438.
30. Di Felice F., De Bari L., Braccio G. Kraft lignin: A valuable, sustainable resource, opportunities and challenges // *ChemSusChem*. 2023. Vol. 16, Is. 13. Article e202300492. DOI: 10.1002/cssc.202300492.
31. Niemi J., Balint R., Engblom M., Lindberg D. Modeling of temperature gradient-induced melt movement within kraft recovery boiler ash deposits // *Energy & Fuels*. 2024. Vol. 39, Is. 1. P. 454–464. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.4c04516.
32. Raju V., Engblom M., Rantala E., Enestam S., Mansikkasalo J. Kraft recovery boiler operation with splash plate and/or beer can nozzles – a case study // *TAPPI Journal*. 2021. Vol. 20, Is. 10. P. 625–636. DOI: 10.32964/TJ20.10.625.
33. Rämö J., Lappalainen J., Hiltunen Y., Järvinen M., Alopaeus V. Solids content of black liquor measured by online time-domain NMR // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9, Is. 10. Article 2169. DOI: 10.3390/app9102169.
34. Arsalan A., Ravikumar Y., Tang X., Cao Z., Zhao M., Sun W., Qi X. Chimeric enzymes in the pulp and paper making industry: current developments // *Biotechnology Advances*. 2025. Vol. 79. Article 108530. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2025.108530.
35. Ali R.H., Abdel Samee A.A., Maghraby H.M. Exergoeconomic assessment of a cogeneration pulp and paper plant under bi-operating modes // *Applied Energy*. 2023. Vol. 351. Article 121784. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.121784.
36. Goswami S., Pant H.J., Sheoran M., Chandra A., Sharma V.K., Bhunia H. Residence time distribution measurements in an industrial-scale pulp digester using technetium-99m as radio-tracer // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2020. Vol. 323, Is. 3. P. 1373–1379. DOI: 10.1007/s10967-019-06730-3.
37. Balvert M. Iterative rule extension for logic analysis of data: an MILP-based heuristic to derive interpretable binary classifiers from large data sets // *INFORMS Journal on Computing*. 2024. Vol. 36, Is. 3. P. 723–741. DOI: 10.1287/ijoc.2021.0284.
38. Niemi J., Balint R., Engblom M., Lehmusto J., Lindberg D., Hupa L. Equilibrium model approach to predict local chemical changes in recovery boiler deposits // *Energy*. 2024. Vol. 306. Article 132507. DOI: 10.1016/j.energy.2024.132507.
39. Jafarihonar F., Vainio E., Hupa L., Hupa M. Deposit sintering in modern Kraft recovery boilers – the role of NaOH? // *Fuel*. 2024. Vol. 371. Part B. Article 132138. DOI: 10.1016/j.fuel.2024.132138.

СТАТЬИ

УДК 376.1:373.2

DOI 10.17513/snt.40401

**ДИАГНОСТИКА УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ
СОЦИАЛЬНО-БЫТОВЫХ НАВЫКОВ У ДЕТЕЙ
СТАРШЕГО ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА
С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ****Барцаева Е.В.**

*ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева»,
Саранск, e-mail: ezhovkina.elena@mail.ru*

Статья посвящена актуальной проблеме диагностики уровня сформированности социально-бытовых навыков у детей старшего дошкольного возраста с ограниченными возможностями здоровья, в частности с задержкой психического развития. Цель работы – выявить и проанализировать уровень сформированности социально-бытовых навыков у детей указанной категории. В исследовании представлена разработанная методика, включающая комплекс заданий, направленных на оценку навыков самообслуживания, коммуникации и организации быта, и основана на количественных и качественных показателях, оцениваемых по трехбалльной шкале, что позволяет определить уровень сформированности навыков (высокий, средний, низкий) и выявить индивидуальные трудности каждого ребенка. Апробация методики проводилась на базе МБДОУ «Детский сад «Радуга» комбинированного вида» Рузаевского муниципального района, структурное подразделение «Детский сад №10 комбинированного вида» г. Рузаевка Республики Мордовия с участием 12 детей 6–7 лет с задержкой психического развития. Результаты исследования показали преобладание у дошкольников низкого уровня сформированности социально-бытовых навыков, что свидетельствует о необходимости организации целенаправленной психолого-педагогической работы. Статья подчеркивает важность разработки программ, направленных на развитие социально-бытовых навыков у детей с задержкой психического развития, что будет способствовать их успешной социализации и интеграции в общество. Предложенная методика может быть использована в практике работы педагогов, психологов и родителей для диагностики и дальнейшей коррекционной работы с детьми данной категории.

Ключевые слова: социально-бытовые навыки, старший дошкольный возраст, ограниченные возможности здоровья, задержка психического развития, диагностика, дети

Работа выполнена в рамках гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям научной деятельности вузов-партнеров по сетевому взаимодействию (Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева и Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева) по теме «Научно-методические основы социально-коммуникативного развития дошкольников в общем и специальном образовании» (руководитель – Е.В. Барцаева).

**DIAGNOSIS OF THE LEVEL OF FORMATION
OF SOCIAL AND HOUSEHOLD SKILLS
IN OLDER PRESCHOOL CHILDREN WITH DISABILITIES****Bartsaeva E.V.**

*Mordovia State Pedagogical University named after M.E. Evseiev,
Saransk, e-mail: ezhovkina.elena@mail.ru*

The article is devoted to the urgent problem of diagnosing the level of formation of social and household skills in older preschool children with disabilities, in particular, with mental retardation. The purpose of the work is to identify and analyze the level of formation of social and household skills in children of this category. The study presents a developed methodology that includes a set of tasks aimed at assessing self-service, communication and household management skills, and is based on quantitative and qualitative indicators assessed on a three-point scale, which allows us to determine the level of skill formation (high, medium, low) and identify the individual difficulties of each child. The methodology was tested on the basis of MBDOU «Kindergarten «Rainbow» combined type» Ruzaevsky municipal district structural subdivision «Kindergarten No. 10 combined type». Ruzaevka of the Republic of Mordovia with the participation of 12 children aged 6-7 with mental retardation. The results of the study showed that the subjects had a low level of formation of social and household skills, which indicates the need to organize targeted psychological and pedagogical work. The article emphasizes the importance of developing programs aimed at developing social and household skills in children with mental retardation, which will contribute to their successful socialization and integration into society. The proposed methodology can be used in the practice of teachers, psychologists and parents for diagnosis and further correctional work with children of this category.

Keywords: social and household skills, senior preschool age, limited health opportunities, mental retardation, diagnostics, children

The work was carried out within the framework of a grant for research in priority areas of scientific activity of partner universities in networking (I. Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University and M. E. Mordovia State Pedagogical University). Evseiev) on the topic «Scientific and methodological foundations of social and communicative development of preschoolers in general and special education» (supervisor – E. V. Bartsaeva)

Введение

Социально-бытовые навыки (СБН) представляют собой важнейший аспект личностного и социального развития индивида, особенно в контексте современного общества. Эти навыки охватывают широкий спектр умений, необходимых для успешного взаимодействия с окружающей средой и людьми, включая выполнение повседневных задач, умение общаться, строить отношения и адаптироваться к различным социальным ситуациям. Важно отметить, что СБН не являются врожденными – они формируются и развиваются в процессе социализации, с раннего детства и на протяжении всей жизни.

Научные исследования в области психологии и педагогики подчеркивают, что СБН играют ключевую роль в успешной интеграции личности в общество [1; 2]. Они способствуют не только индивидуальному развитию, но и формированию здоровых социальных отношений, что, в свою очередь, влияет на качество жизни человека. В условиях стремительных изменений в социальной среде, вызванных глобализацией, технологическим прогрессом и изменениями в структуре семьи, необходимость в формировании этих навыков становится особенно актуальной.

По мнению Н.А. Пешковой и С.Г. Лещенко, СБН – это совокупность знаний, умений и способностей, позволяющих человеку эффективно взаимодействовать с окружающей средой и успешно справляться с задачами повседневной жизни. Эти навыки включают в себя широкий спектр действий, начиная от базовых бытовых умений (например, уход за собой, приготовление пищи, поддержание порядка) до более сложных социальных компетенций, таких как умение общаться, соблюдать нормы поведения, разрешать конфликты и адаптироваться к изменяющимся условиям [3]. Современные исследователи утверждают, что СБН играют ключевую роль в процессе социализации, так как они позволяют человеку не только самостоятельно справляться с повседневными задачами, но и выстраивать гармоничные отношения с окружающими, понимать и учитывать интересы других людей, а также действовать в соответствии с принятыми в обществе нормами и правилами [4; 5].

Для детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) формирование СБН приобретает особую значимость, поскольку они являются важным условием для их успешной адаптации в повседневной жизни и интеграции в общество. В исследованиях Н.В. Рябовой показано, что такие дети не-

редко испытывают серьезные трудности в освоении этих умений, что связано с особенностями их психофизического развития, такими как сниженные познавательные способности, ограниченная моторная активность, трудности в коммуникации и восприятии окружающего мира. Эти барьеры могут существенно затруднять процесс овладения базовыми навыками самообслуживания, взаимодействия с окружающими и организации быта, что, в свою очередь, ограничивает их самостоятельность и снижает качество жизни [6].

Таким образом, СБН являются важным компонентом личностного развития, обеспечивающим человеку возможность жить полноценной и самостоятельной жизнью, независимо от его учебной или профессиональной деятельности. Их формирование и развитие у детей с ОВЗ требует особого внимания и комплексного подхода, направленного на поддержку их индивидуальных потребностей и создание условий для успешной адаптации в общество.

Согласно исследованиям современных педагогов, дошкольный возраст считается наиболее сензитивным и эффективным этапом для развития СБН, так как именно в этот период дети обладают высокой восприимчивостью к обучению и активно осваивают новые умения. Авторы подчеркивают, что именно в этот период у детей активно развиваются способности к самообслуживанию, коммуникации, ориентации в бытовых ситуациях и усвоению норм социального поведения. Они отмечают, что в дошкольном возрасте закладываются основы самостоятельности, которые в дальнейшем способствуют успешной адаптации ребенка в обществе и его гармоничному развитию. Ученые акцентируют внимание на том, что своевременное и систематическое формирование СБН в этот период создает прочную базу для дальнейшего личностного роста и социализации [7; 8, с. 20]. СБН и элементарные бытовые умения являются важными составляющими развития ребенка. Они осваиваются через наблюдение за поведением окружающих людей в повседневной жизни, подражание им и постепенное освоение через опытный путь. Однако у детей с ОВЗ накопление социально-бытового опыта затруднено из-за наложенных их дефектом ограничений, которые приводят к нарушению познавательной деятельности [9, с. 11; 10, с. 13].

А.Р. Маллер в своих исследованиях выделил и систематизировал ключевые критерии и показатели СБН, которые играют важную роль в успешной интеграции детей с ОВЗ в общество. Среди этих критериев

автор особо отмечает способность к самообслуживанию, включая навыки личной гигиены, одевания, приема пищи и ухода за собой. Кроме того, Маллер подчеркивает важность развития коммуникативных умений, таких как способность выражать свои потребности, взаимодействовать с окружающими и соблюдать социальные нормы поведения. Также в перечень показателей входят навыки организации быта, например умение поддерживать порядок в личном пространстве, выполнять простые домашние обязанности и ориентироваться в повседневных ситуациях [11, с. 24].

Современные исследования подтверждают, что развитие СБН у детей тесно связано со становлением их нравственно-волевых и трудовых качеств. Успешное формирование личностных характеристик в дошкольном возрасте определяет не только готовность к школьному обучению, но и уровень овладения бытовыми и социальными умениями. Первый опыт в этой сфере помогает ребенку становиться более самостоятельным, проявлять инициативу, а в дальнейшем – оказывать поддержку окружающим [12; 13].

В нашем исследовании интерес представляют дети старшего дошкольного возраста с задержкой психического развития (ЗПР), которые имеют свои особенности в формировании СБН. Дети данной категории могут испытывать трудности в освоении базовых навыков самообслуживания, таких как одевание, умывание, чистка зубов и использование туалета. Они могут требовать больше времени и поддержки для выполнения этих задач. Задержка в речевом развитии может затруднять общение с взрослыми и сверстниками. Дети могут не всегда уметь правильно выразить свои мысли и желания, что может приводить к недопониманию и фрустрации. Дети с ЗПР могут не всегда осознавать социальные нормы и правила поведения в обществе. Это может проявляться в трудностях с соблюдением очереди, взаимодействием с другими детьми и пониманием эмоциональных реакций окружающих. Дети с ЗПР могут проявлять повышенную эмоциональную реактивность, что может затруднять их адаптацию в социальной среде. Они могут быстрее уставать, испытывать фрустрацию или тревогу в новых ситуациях. Из-за трудностей в обучении дети с ЗПР могут терять интерес к новым навыкам и задачам.

Таким образом, формирование СБН у старших дошкольников с ЗПР значимо для их развития и успешной адаптации в обществе, а именно: способствует развитию самостоятельности и независимости,

так как дети учатся выполнять повседневные задачи, такие как одевание, прием пищи, умывание, уборка игрушек и др., без постоянной помощи взрослых; способствует успешной социализации: дети с ЗПР получают опыт взаимодействия с окружающими, учатся соблюдать правила поведения и нормы этикета; способствует развитию мелкой моторики через формирование навыков по застегиванию пуговиц, завязыванию шнурков, а также умений пользоваться столовыми приборами и др., что способствует развитию координации движений и улучшению моторики рук; позволяет детям с ЗПР лучше ориентироваться в окружающей среде и понимать ее, так как они учатся использовать предметы быта, соблюдать правила безопасности и ориентироваться в пространстве; положительно влияет на психологическое состояние дошкольников с ЗПР: дети чувствуют себя увереннее и спокойнее, когда могут самостоятельно выполнять повседневные задачи, что способствует их эмоциональному благополучию и снижению уровня тревожности. СБН являются важным элементом социализации детей старшего дошкольного возраста, особенно для детей с ЗПР. Формирование этих навыков способствует их успешной адаптации в обществе, развитию самостоятельности и повышению качества жизни. Однако диагностика уровня сформированности СБН у детей с ЗПР требует особого подхода, учитывающего их индивидуальные особенности и специфику развития [14].

Цель исследования – выявление и анализ уровня сформированности СБН у детей старшего дошкольного возраста с ЗПР.

Материалы и методы исследования

Педагогический эксперимент проводился в сентябре – октябре 2024 г. Базой для проведения исследования стало МБДОУ «Детский сад «Радуга» комбинированного вида» Рузаевского муниципального района структурное подразделение «Детский сад № 10 комбинированного вида» г. Рузаевка Республики Мордовия. Данная организация специализируется на работе с детьми, имеющими особые образовательные потребности, что делает ее подходящей площадкой для изучения особенностей развития СБН.

В исследовании приняли участие 12 детей старшего дошкольного возраста (6–7 лет) с ЗПР. Выбор данной возрастной группы обусловлен тем, что в этот период формирование СБН приобретает особую значимость для успешной адаптации и социализации. Участники исследования были отобраны с учетом их индивидуальных особенностей и потребностей, что позволило обеспечить

репрезентативность выборки и получить достоверные данные. С целью организации диагностической работы с дошкольниками авторы привлекали учителя-логопеда, которому предоставлялись подробные инструкции.

Методика констатирующего эксперимента базировалась на подходе, разработанном Г.Г. Зак, О.Г. Нугаевой и Н.В. Шульженко [15]. Структура диагностического исследования включала следующие блоки: изучение знаний о себе и о предметах окружающего мира (о частях тела, о посуде, об одежде и обуви, о предметах, необходимых для удовлетворения естественных потребностей); изучение сформированности навыков самообслуживания (приема пищи, удовлетворения естественных потребностей). Диагностика проводилась индивидуально с каждым ребенком, без ограничения по времени. Результаты фиксировались в протоколах и подвергались статистической обработке. Результаты диагностического исследования представлены системой баллов. В процессе проведения диагностики результаты оценивались и фиксировались в соответствии с тремя уровнями сформированности СБН: высоким, средним и низким. Для объективной оценки выполнения заданий была разработана трехбалльная шкала, которая учитывает степень самостоятельности и успешности выполнения ребенком предложенных задач. Если ребенок справляется с заданием полностью самостоятельно и правильно, ему присваивается 2 балла. В случае, когда ребенок выполняет задание, но ему требуется помощь или подсказка взрослого, результат оценивается в 1 балл. Если же ребенок не справляется с выполнением задания даже при активной поддержке взрослого, фиксируется 0 баллов. Итак, оценка уровня сформированности СБН у старших дошкольников с ЗПР проводилась на основе балльной системы. После выполнения каждого задания ребенку выставлялись баллы в соответствии с трехбалльной шкалой, учитывающей степень самостоятельности и успешности выполнения. Затем все полученные баллы суммировались для определения общего уровня развития СБН. Максимальное количество баллов, которое мог набрать каждый участник исследования, составляло 58 баллов, что соответствовало полному и самостоятельному выполнению всех заданий. Минимальное количество баллов, которое могло быть зафиксировано, равнялось 0, что указывало на отсутствие сформированности навыков даже при активной помощи взрослого. На основе общей суммы баллов выделялись три уровня сформированности

СБН: высокий уровень (45–58 баллов) свидетельствует о том, что ребенок демонстрирует уверенное и самостоятельное выполнение большинства заданий, что говорит о хорошей подготовленности к повседневной жизни; средний уровень (30–41 балл) указывает на частичную сформированность навыков, при которой ребенок справляется с заданиями, но часто нуждается в помощи или подсказках взрослого; низкий уровень (0–26 баллов) характеризуется значительными трудностями в выполнении заданий, даже при активной поддержке со стороны взрослого, что требует целенаправленной коррекционной работы. В ходе исследования акцент был сделан на анализе представлений детей о себе и окружающем мире, оценке степени развития мелкой моторики и уровня сформированности навыков самообслуживания. Для реализации этих задач участникам было предложено выполнить 7 заданий, содержание которых, формулировка инструкций и используемый материал были разработаны с учетом возрастных и индивидуальных особенностей детей.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе наблюдения за детьми и по итогам диагностического исследования уровня сформированности СБН были получены следующие результаты, которые представлены в таблице.

При выполнении первого задания, направленного на изучение знаний детей о частях тела, результаты распределились следующим образом: высокий уровень продемонстрировал 1 ребенок (8,3 % от общего числа участников), который безошибочно показал все названные части тела. Средний уровень выполнения задания был зафиксирован у 5 детей, что составило 41,5 % от общего количества участников исследования. Эти дети справились с заданием частично, допустив незначительные ошибки или затруднения. Данные воспитанники смогли соотнести названиями с помощью подсказок со стороны взрослого. Не смогли назвать и показать части тела даже с помощью подсказок со стороны взрослого 6 дошкольников (50,2 % от общего числа детей), что соответствовало низкому уровню. При выполнении второго задания, направленного на изучение знаний детей о посуде, результаты показали следующее: ни один из дошкольников не достиг высокого уровня выполнения. Средний уровень был зафиксирован у 5 детей, что составило 41,5 % от общего числа участников. Эти дети справились с заданием частично, допустив незначительные ошибки или затруднения.

Результаты диагностики уровня сформированности социально-бытовых навыков у старших дошкольников с ЗПР

Номер методики	Уровень выполнения задания					
	Высокий		Средний		Низкий	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Задание 1	1	8,3	5	41,5	6	50,2
Задание 2	–	–	5	41,5	7	58,5
Задание 3	1	8,3	3	24,9	8	66,8
Задание 4	–	–	3	24,9	9	75,1
Задание 5	–	–	4	33,2	8	66,8
Задание 6	–	–	6	50	6	50
Задание 7	–	–	5	41,5	7	58,5

Источник: составлено автором на основе проведенного исследования.

Остальные участники (58,5 %) показали низкий уровень, не справившись с заданием или допустив значительные ошибки. Такие результаты указывают на необходимость дополнительной работы по формированию у детей знаний о предметах быта, что способствует их социальной адаптации и развитию бытовых навыков. При проведении третьего задания, цель которого заключалась в исследовании знаний об одежде и обуви, 1 ребенок (8,3 %) продемонстрировал высокий уровень. Участник исследования успешно справился с заданием, правильно соотнес предметы с их названиями. Однако у 3 детей (24,9 %) возникли затруднения в выполнении данного задания, и они смогли завершить его только с помощью наводящих вопросов взрослого. При этом 8 дошкольников (66,8 % от общего числа участников) не смогли соотнести предметы с их названиями даже при наличии подсказок, что свидетельствует о низком уровне выполнения задания. При проведении четвертого задания, цель которого заключалась в исследовании знаний о предметах, необходимых для удовлетворения естественных потребностей, 3 ребенка (24,9 %) продемонстрировали средний уровень. Они соотносили предметы с их названиями с помощью подсказок со стороны взрослого. У 9 детей (75,1 %) был выявлен низкий уровень. Они не смогли показать на названную посуду даже с помощью подсказок со стороны взрослого. При проведении пятого задания, цель которого заключалась в исследовании навыков приема пищи, 4 дошкольника (33,2 %) продемонстрировали средний уровень. Воспитанники выполнили данные действия при незначительной помощи взрослого. У 8 детей (66,8 %) навык отсутствует, все действия

выполняет взрослый, что соответствует низкому уровню. При проведении шестого задания, цель которого заключалась в исследовании навыков удовлетворения естественных потребностей, 6 дошкольников (50 %) продемонстрировали средний уровень, следовательно, выполнили данные действия при незначительной помощи взрослого. И 6 детей (50 %) показали низкий уровень, все действия были выполнены взрослым.

При проведении седьмого задания, цель которого заключалась в исследовании навыков пользования одеждой и обувью, 5 детей дошкольного возраста (41,5 %) продемонстрировали средний уровень. Они выполняли задание при незначительной помощи взрослого. У 7 детей (58,5 %) был выявлен низкий уровень. У данных дошкольников навыки данной категории отсутствуют.

Низкий уровень сформированности СБН наблюдается у 7 дошкольников (58,1 %) от общего количества участников исследования, средний уровень – 5 детей (41,5 %), высокий уровень не был выявлен. По результатам констатирующего эксперимента автором были выделены две группы детей. К первой, наиболее благоприятной в плане сформированности СБН группе, были отнесены дети со средним уровнем. В группу вошли 5 дошкольников (41,5 % от общего количества испытуемых). У детей частично сформированы навыки самообслуживания. При выполнении заданий на изучение знаний обучающихся о себе и о предметах окружающего мира дошкольникам с ЗПР требовалась помощь со стороны взрослого. Дети достаточно легко шли на контакт. Ко второй группе дошкольников были отнесены дети с низким уровнем. По результатам констатирующего эксперимента

было выявлено 7 детей (58,1 %) с указанным выше уровнем из 12 участников исследования. У дошкольников данной группы наблюдается не только недостаточная сформированность навыков самообслуживания, но и ограниченность знаний о себе и о предметах окружающего мира. Дети плохо понимали инструкцию, а некоторые просто игнорировали ее. Анализ данных показал, что у детей с ЗПР уровень сформированности СБН варьируется в зависимости от характера и степени нарушений. Результаты исследования подтверждают необходимость индивидуального подхода к диагностике и формированию СБН у детей с ЗПР. Разработанная методика позволяет выявить как сильные, так и слабые стороны каждого ребенка, что является важным условием для разработки коррекционно-развивающих программ.

Заключение

СБН играют ключевую роль в повседневной жизни, позволяя детям самостоятельно выполнять элементарные задачи, такие как уход за собой, взаимодействие с окружающими и участие в бытовой деятельности. Для детей с ЗПР формирование этих навыков имеет особое значение, так как они часто сталкиваются с трудностями в освоении социальных норм и правил, что может привести к изоляции и снижению качества жизни.

Анализ результатов констатирующего эксперимента показал, что среди 12 детей старшего дошкольного возраста с ЗПР преобладают дошкольники с низким уровнем сформированности СБН, что составляет 58,1% от общего числа участников. Это свидетельствует о значительных трудностях в освоении базовых навыков самообслуживания, коммуникации и организации быта. Данные, полученные в ходе исследования и наблюдений, подтверждают необходимость систематической и целенаправленной психолого-педагогической работы, направленной на формирование и развитие СБН у данной категории детей. Для эффективного повышения уровня сформированности СБН у старших дошкольников с ЗПР необходимо разработать и внедрить специализированную программу, которая будет учитывать их индивидуальные особенности, когнитивные возможности и специфические потребности. Такой подход позволит не только развить у детей базовые навыки самообслуживания и взаимодействия с окружающим миром, но и создать условия для их успешной адаптации в повседневной жизни. Программа должна включать в себя практические задания,

игровые методы обучения и поэтапное усложнение задач, что будет способствовать постепенному освоению детьми необходимых социально-бытовых компетенций. Такая программа должна включать комплекс упражнений, заданий и практических занятий, направленных на развитие навыков самообслуживания, коммуникации, а также на расширение знаний об окружающем мире. Реализация подобной программы позволит не только улучшить социально-бытовую адаптацию детей, но и будет способствовать их успешной интеграции в общество.

Список литературы

1. Ахметзянова А.И., Чураева У.Л. Формирование социально-бытовых навыков у детей, страдающих детским церебральным параличом, в условиях ранней помощи // Системная интеграция в здравоохранении. 2016. № 1 (27). С. 29–34. URL: <https://sys-int.ru/journals/2016/1-27/formirovanie-socialno-bytovyh-navykov-u-detey-stradayushchih-detskim-cerebralnym> (дата обращения: 29.03.2025).
2. Барцаева Е.В. Сущность личностного компонента готовности к социально-бытовой ориентации дошкольников // Проблемы современного педагогического образования. Сер.: Педагогика и психология. Сборник научных трудов: Ялта: РИО ГПА, 2018. Вып. 59. Ч. 3. [Электронный ресурс]. URL: <https://gpa.cfuv.ru/attachments/article/3840/Выпуск%2059%20часть%203,%202018%20год.pdf> (дата обращения: 29.03.2025).
3. Пешкова Н.А., Лещенко С.Г. Диагностика и развитие социально-бытовых навыков у старших дошкольников с расстройствами аутистического спектра. М.: Мир науки, 2020. 107 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://izd-mn.com/PDF/68MNNPU20.pdf> (дата обращения: 29.03.2025).
4. Барцаева Е.В. Теоретические основы структуры готовности к социально-бытовой ориентации дошкольников // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. № 3 (24). С. 299–302. URL: <https://snv63.ru/2309-4370/article/view/21747> (дата обращения: 29.03.2025).
5. Юсупова М.Р. Теоретические аспекты изучения сформированности социально-бытовых навыков у детей старшего дошкольного возраста // Инновационная наука. 2022. № 7–2. С. 73–74. URL: <https://aeterna-ufa.ru/sbornik/IN-2022-07-2.pdf> (дата обращения: 29.03.2025).
6. Рябова Н.В., Живаева О.Н. Формирование социально-бытовой ориентировки у детей дошкольного возраста с ОВЗ // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Гуманитарные науки». 2022. № 7–2. С. 48–52. URL: <http://www.nauteh-journal.ru/files/21d204fb-6b15-4c0f-adb8-12de7252a972> (дата обращения: 29.03.2025).
7. Любимова А.Ю. Особенности формирования социально-бытовых навыков детей старшего дошкольного возраста с ЗПР // Наука и реальность. 2024. № 4 (20). С. 67–73. URL: [https://zhurnalnir.ru/doc/publ/4\(20\)2024-1.pdf](https://zhurnalnir.ru/doc/publ/4(20)2024-1.pdf) (дата обращения: 29.03.2025).
8. Сунагатулина И.И., Трегуб А.А. Развитие социально-бытовых навыков у детей старшего дошкольного возраста с РАС. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. 47 с.
9. Климон Н.Л. Формирование социально-бытовых навыков у детей с нарушением функций опорно-двигательного аппарата средствами игры: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Санкт-Петербург: Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина, 2012. 24 с.
10. Наумов А.А. Педагогические условия формирования социально-бытовых навыков у детей со спастическими

формами ДЦП: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2005. 24 с.

11. Маллер А.Р. Социальное воспитание и обучение детей с отклонениями в развитии. М.: Аркти, 2005. 176 с.

12. Зинатуллина А.Р. Формирование социально-бытовых навыков у детей с нарушением интеллектуального развития в процессе коррекционно-развивающей работы // Вестник Казанского государственного университета культуры и искусств. 2023. № 2. С. 147–157. URL: https://drive.google.com/file/d/1ntYaziZgvMqECAZjxQ15nN1ag_HddWpq/view?pli=1 (дата обращения: 29.03.2025).

13. Ибрагимова А.Р., Меметова Э.Р. Особенности развития социально-бытовых навыков у детей с умственной отсталостью // Мир педагогики и психологии. 2023. № 10 (87).

С. 136–139. URL: <https://scipress.ru/pedagogy/articles/osobennosti-razvitiya-sotsialno-bytovykh-navykov-u-detej-s-umstvennoj-otstalostyu.html> (дата обращения: 29.03.2025).

14. Рогожина Е.А., Иванова В.А. Методы формирования и коррекции социально-бытовых навыков умственно отсталых детей // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 12 (ч. 2) С. 183–185. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=10925> (дата обращения: 15.03.2025).

15. Зак Г.Г., Нугаева О.Г., Шульженко Н.В. Методика обследования социально-бытовых навыков у детей младшего дошкольного возраста с умеренной и тяжелой умственной отсталостью // Специальное образование. 2014. № 1 (33). С. 52–59. URL: https://specobr.ru/images/2014/1-2014/_1_2014_-07.pdf (дата обращения: 29.03.2025).

УДК 378.2
DOI 10.17513/snt.40402

КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕДАГОГА-ПСИХОЛОГА

Бекоева М.И.

ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова»,
Владикавказ, e-mail: bekoevamarina@mail.ru

Статья посвящена обоснованию качественных и количественных методов исследования как необходимых инструментов в деятельности педагога-психолога, позволяющих ему аргументировать свои решения на основе научно подтвержденных данных и обеспечивающих понимание индивидуальных особенностей и потребностей обучающихся. Количественные методы необходимы для изучения больших групп обучающихся, выявления статистических закономерностей и оценки эффективности реализуемых образовательных программ. Качественные данные дают возможность раскрыть сложные взаимосвязи между различными факторами, строить гипотезы, выявлять закономерности и создавать более полную и глубокую картину исследуемого явления. Постановка данной проблемы обусловила решение следующих задач: доказать значимость качественных и количественных методов исследования в практической деятельности педагога-психолога; описать первичные и вторичные величины, характеризующие психолого-педагогические процессы и явления. Интеграция качественных и количественных методов в исследовательской практике педагога-психолога позволяет получить более полное и всестороннее представление об изучаемой проблеме, расширяет теоретическую базу для разработки новых моделей и концепций в области психолого-педагогических исследований. Качественные и количественные методы, такие как тестирование, анкетирование, математическая обработка результатов, дают возможность выявить закономерности, тенденции и отклонения от нормы, получить объективную картину об уровне развития определенных навыков, способностей, личностных характеристик, что особенно важно для ранней диагностики проблемы и разработки эффективных стратегий ее решения.

Ключевые слова: качественные и количественные методы, педагог-психолог, измерения в психологии, педагогические и психологические исследования

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE RESEARCH METHODS IN THE ACTIVITIES OF A TEACHER-PSYCHOLOGIST

Bekoeva M.I.

North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, Vladikavkaz,
e-mail: bekoevamarina@mail.ru

The article is devoted to the substantiation of qualitative and quantitative research methods as necessary tools in the activities of an educational psychologist, allowing him to argue his decisions based on scientifically proven data and providing an understanding of the individual characteristics and needs of students. Quantitative methods are necessary for studying large groups of students, identifying statistical patterns and assessing the effectiveness of educational programs. Qualitative data make it possible to reveal complex relationships between various factors, build hypotheses, identify patterns and create a more complete and in-depth picture of the phenomenon under study. The formulation of this problem determined the solution of the following tasks: to prove the significance of qualitative and quantitative research methods in the practical activities of an educational psychologist; to describe the primary and secondary quantities characterizing psychological and pedagogical processes and phenomena. The integration of qualitative and quantitative methods in the research practice of an educational psychologist allows for a more complete and comprehensive understanding of the problem under study, expands the theoretical basis for the development of new models and concepts in the field of psychological and pedagogical research. Qualitative and quantitative methods, such as testing, questionnaires, mathematical processing of results, allow us to identify patterns, trends and deviations from the norm, to obtain an objective picture of the level of development of certain skills, abilities, personal characteristics, which is especially important for early diagnosis of the problem and the development of effective strategies for solving it.

Keywords: qualitative and quantitative methods, teacher-psychologist, measurements in psychology, pedagogical and psychological research.

Введение

Профессиональная деятельность педагога-психолога – это сложный и многогранный процесс, требующий глубокого понимания личности испытуемого, его окружения и особенностей развития. Чтобы эф-

фективно решать возникающие проблемы и оказывать квалифицированную помощь, педагог-психолог должен иметь прочную теоретическую базу в контексте научно-исследовательской деятельности, владеть концептуальными подходами и механиз-

мами гибкой адаптации теоретических и эмпирических методов исследования, среди которых важное место отводится качественным и количественным методам исследования, что делает их более эффективными и валидными для конкретного случая. Педагог-психолог должен не только владеть глубокими знаниями в области психологии и педагогики, но и уметь критически оценивать существующие подходы, анализировать ситуацию с разных сторон и, самое главное, находить принципиально новые, нестандартные решения. Вместо шаблонного следования инструкциям требуются творческий подход, гибкость мышления и готовность к эмпирическим исследованиям на основе объективной качественной и количественной оценки. Именно способность к такому анализу и поиску новых траекторий действия и является ключевой особенностью профессиональной деятельности педагога-психолога в современных условиях.

Некоторые аспекты использования качественных и количественных методов как методов обработки данных отражены в научных исследованиях ряда ученых по педагогике и психологии. В работах Т.Е. Гришкиной, О.В. Летова, С.А. Расчетина, Т.А. Юрьева дается анализ качественных и количественных методов в социогуманитарных, психологических и педагогических исследованиях [1–3]. В исследованиях А.Ф. Ануфриева, С.Н. Костромина, И.А. Сладковой, Н.В. Толкачевой, В.И. Чмеля раскрываются специфические особенности педагога-психолога и эффективность его диагностической деятельности [4–6]. В работах Н.Н. Будрейка, А.С. Колесникова, Е.В. Коневой, А.Х. Кукубаевой, Г.О. Рощиной, Л.С. Русановой обосновываются принципы организации деятельности педагога-психолога в общеобразовательной школе, усиливающие профилактическую направленность и самозффективность в деятельности психологической службы образования как основы ее экономической продуктивности [7–9].

Цель исследования заключается в обосновании значимости качественных и количественных методов исследования в деятельности педагога-психолога, владение которыми не просто расширяет поле используемого диагностического инструментария, но и становится базисом для принятия обоснованных решений.

Такая постановка проблемы обусловила решение следующих задач: на основе анализа существующих концепций и подходов к проблеме исследования доказать значимость качественных и количественных методов исследования в практической

деятельности педагога-психолога; описать первичные и вторичные величины, характеризующие психолого-педагогические процессы и явления.

Материалы и методы исследования

Основным методом исследования в статье послужил анализ научной психолого-педагогической и методической литературы по теме исследования, который позволил: расширить теоретическую базу для разработки новых моделей и концепций в области психологических и педагогических исследований; выявить оптимальные стратегии применения качественных и количественных методов исследования в различных аспектах деятельности педагога-психолога; расширить потенциал качественных и количественных методов в контексте междисциплинарных исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Владение качественными и количественными методами научного исследования позволяет педагогу-психологу проводить собственные исследования; анализировать данные; делать обоснованные выводы; предлагать эффективные решения, основанные на аргументированных результатах; предоставляет возможность применения логики поэтапного применения качественных и количественных методов исследования в практической деятельности педагогов-психологов. Одним из основных требований, предъявляемых к логике и структуре построения педагогических и психологических исследований, является четкая и последовательная аргументация, подкрепленная теоретическим обоснованием, практической значимостью и доказательными эмпирическими данными. Как показал анализ многочисленных исследований (И.В. Налетова, В.Л. Тамбовцев), представить убедительное теоретическое обоснование, подтвердить выдвинутую гипотезу возможно на основе грамотного применения качественных и количественных методов исследования [10, 11]. При этом: *количественная обработка результатов исследования*, предназначенная для изучения объективных, количественно измеряемых признаков, предполагает использование математических и статистических методов исследования с последующим их представлением в табличной, схематичной графической или диаграммной формах; *качественная характеристика результатов исследования* не предполагает числового представления, а отражает значимость данного

исследования, подтверждение гипотезы, субъективную ценность исследования и т.д.

В своей профессиональной деятельности педагог-психолог может использовать качественные и количественные методы для более успешного решения аналитических, диагностических и прогностических задач, среди которых: анализ демографической ситуации, исследование причин социального и семейного неблагополучия; изучение действий и поступков обучающихся; выявление причин девиантного поведения обучающихся, поиск и реализация методов и способов их устранения; изучение классного коллектива, взаимоотношений в нем; создание благоприятного психологического климата в классном коллективе; организация совместных воспитательных мероприятий с целью формирования у обучающихся способности и готовности к командной работе; привлечение родителей к участию в жизни класса и школы [12]. Процесс научного исследования в области педагогики и психологии обычно состоит из четырех взаимосвязанных этапов: *подготовительного*, предназначенного для отбора диагностического инструментария и его реализации для выявления исходного состояния исследуемой проблемы; *формирующего*, на котором реализуется экспериментальная программа; *контрольного*, предназначенного для количественной обработки полученных данных; *заключительного*, служащего для качественного анализа и интерпретации результатов исследования. Используя качественные и количественные данные на каждом из этих этапов, педагог-психолог получает целостное представление о проблеме исследования, выявляет зародившиеся противоречия, разрабатывает наиболее эффективные стратегии их разрешения. В связи с этим некоторые исследователи одним из принципов построения работы педагога-психолога называют принцип точности как условие совпадения показаний измерительной методики с истинным значением измеряемой величины [13, 14].

Исходя из выявленных противоречий и обозначенной проблемы, формулируется цель исследования, уточняются предмет и объект исследования, определяется исходная гипотеза, выдвигаются задачи, решение которых обеспечивает подтверждение гипотезы исследования. При этом надо иметь в виду, что выдвижение гипотезы, ее последующее уточнение создают возможность более планомерного и целенаправленного осуществления всего процесса исследования. Важно на этом этапе исследования четко установить: *во-первых*,

исходные положения, которых автор исследования будет придерживаться и на основе которых он будет вести свое исследование; *во-вторых*, в чем будут заключаться научная новизна и теоретическая значимость, а также практическая ценность данного исследования, чем оно будет отличаться от ранее проведенных исследований, какая новая сторона или аспект проблемы будут предметом данного исследования.

Намеченная проблема и выдвинутая гипотеза позволяют отобрать диагностический инструментарий, который поможет установить истинность или ложность выдвинутой гипотезы. При этом чрезвычайно важно, чтобы выбранные качественные и количественные методы в своей совокупности: давали достоверный ответ на все вопросы и проблемы исследования; предусматривали все взаимоисключающие возможности и случаи в рассматриваемых явлениях; позволяли сделать взаимопроверку результатов, полученных с помощью одной методики, с результатами, полученными с помощью другой методики. Для этого необходимо предварительно установить те показатели и параметры исследуемого явления, динамику изменения которых нужно будет показать с использованием качественных и количественных методов. Важно, чтобы эти показатели были измеряемыми, то есть поддавались как качественной, так и количественной оценке. Исследователь должен понимать, как эти показатели меняются со временем, чтобы отследить динамику изменений. Только после всего этого можно переходить ко второму этапу исследования – к его непосредственному осуществлению.

Как для текущего, так и для последующего итогового анализа результатов исследования следует использовать надежные диагностические методики, для которых подтверждена валидность. Фиксирование результатов исследования требует от экспериментатора владения качественными и количественными методами исследования. Собранные в процессе проведения исследования данные подвергаются затем заключительной обработке. Эта обработка состоит в систематизации и классификации полученных данных, в сведении их в удобную для последующего количественного анализа форму. Без четкой систематизации измеряемых показателей педагогическое исследование будет расплывчатым и не принесет ожидаемых результатов. Для этого необходимо соответствие качественных количественных методов и условий задачам исследования (табл. 1).

Таблица 1

Классификация задач и методов их решения

Задачи	Условия	Методы
1.Выявление различий в уровне исследуемого признака	а) 2 выборки испытуемых	Q – критерий Розенбаума; U – критерий Манна–Уитни; φ^* – критерий Фишера
	б) 3 и более выборок испытуемых	S – критерий тенденций Джонкира; H – критерий Крускала–Уоллиса
2. Оценка сдвига значений исследуемого признака	а) 2 замера на одной и той же выборке испытуемых	T – критерий Вилкоксона; G – критерий знаков; φ^* – критерий Фишера
	б) 3 и более замеров на одной и той же выборке испытуемых	χ^2 – критерий Фридмана; L – критерий тенденций Пейджа
3. Выявление различий в распределении	а) при сопоставлении эмпирического признака распределения с теоретическим	χ^2 – критерий Пирсона; λ – критерий Колмогорова–Смирнова; m – биномиальный критерий
	б) при сопоставлении двух эмпирических распределений	χ^2 – критерий Пирсона; λ – критерий Колмогорова–Смирнова; φ^* – критерий Фишера
4.Выявление степени согласованности изменений	а) двух признаков	r_s – коэффициент ранговой корреляции Спирмена
	б) двух иерархий или профилей	r_s – коэффициент ранговой корреляции Спирмена
5. Анализ изменений признака под влиянием контролируемых условий	а) под влиянием одного фактора	S – критерий тенденций Джонкира; L – критерий тенденций Пейджа; однофакторный дисперсионный анализ Фишера
	б) под влиянием двух факторов одновременно	Двухфакторный дисперсионный анализ Фишера

Источник составления таблицы – монография Е.В. Сидоренко [15].

Очень сложным является вопрос об измерении величин, характеризующих исследуемое явление. В психологии наиболее широко используется определение измерения, сформулированное автором операционной теории измерения С.С. Стивенсом. Ученый определял измерение как присвоение чисел объектам или событиям в соответствии с определенными правилами. Данное определение акцентирует внимание на связи между теоретическими конструктами, эмпирическими данными и математическими инструментами, что критически важно для обеспечения валидности и надежности психологических исследований. При таком определении измерения множество чисел считается заданным, и притом одним и тем же для разного вида измерений, т.е. множеством действительных чисел. Последнее обстоятельство очень часто приводит к массовым заблуждениям и ошибкам, а именно: многие считают, что коль скоро в результате измерения получают одни и те же обычные числа, то с ними можно затем обращаться, как это принято в математике, т.е. производить над ними все действия, сравнивать их между собой и т.д.

Между тем это совершенно неверно. Так, над числами, полученными в результа-

те первого и второго видов измерений, т.е. с помощью шкал наименований или порядка, нельзя производить ни одно из арифметических действий, ибо результаты арифметических действий над этими числами не имеют никакого реального смысла. Например, балльные отметки успеваемости являются примером чисел, полученных по шкале порядка (рангов). Но ведь очевидно, что, сложив отметки «2» и «3», по законам арифметики обучающийся должен получить отметку «5». В то же время реально «сумма» знаний двух обучающихся, получивших эти отметки, вряд ли составляет знания обучающегося, имеющего отметку «5». Точно так же знания обучающегося с отметкой «4», конечно, не в 2 раза больше по своему объему знаний (или, точнее, незнаний) неуспевающего обучающегося с отметкой «2».

Таким образом, ясно, что не имеет реального смысла нахождение так называемого среднего балла, довольно часто используемого до сих пор, к сожалению, в некоторых психолого-педагогических исследованиях. Вообще, использования балльных оценок успеваемости надо по возможности избегать. Вместо них предпочтительнее применять такие показатели, как число верных

и неверных ответов, правильных и неправильных решений и т. д. Над числами, полученными по интервальной шкале, можно производить лишь действия сложения и вычитания. И лишь с числами, полученными по шкале отношений, можно производить все арифметические действия.

Величины, характеризующие психолого-педагогические явления, делятся на *первичные и вторичные*. Величина называется *первичной*, если существует удобный способ ее измерения, вычисления любого значения этой величины. Ключевое слово здесь – удобный способ непосредственного измерения. В большинстве случаев количественный анализ, особенно статистический, играет роль вспомогательного метода. Это означает, что процесс измерения должен быть относительно простым, быстрым и не требовать сложных преобразований или вычислений. Другие величины, измерение которых сводится к измерению первичных величин, называются *вторичными*. Так, например, уровень познавательной активности обучающихся есть вторичная величина, а первичными величинами этой активности являются число поднятий руки обучающегося за время урока, число ответов на вопросы учителя, время самостоятельной работы за весь урок.

Для того чтобы по измерениям некоторых первичных величин можно было производить измерение вторичных величин, между первичными и вторичными величинами должны быть логические связи и зависимости. Так, в приведенном выше примере показано, что обучающиеся, которые за урок в среднем столько раз подняли руку, столько раз ответили на вопросы учителя и так далее, относятся к первому уровню познавательной активности, обучающиеся с более низкими показателями этих первичных величин – ко второму уровню активности, и т.д. Как видно, здесь вторичная величина – уровень познавательной активности – измеряется по ранговой шкале, которую исследователь должен предварительно сам составить. Конечно, наилучшим способом измерения вторичной величины через определение первичной является установление функциональной зависимости между ними.

Приступая к нахождению количественных характеристик исследуемого явления, необходимо: четко установить, какими общими свойствами характеризуется множество элементов изучаемого явления; относительно каждого из этих общих свойств выяснить, к какому виду оно принадлежит; если некоторые из этих общих свойств являются величинами, то установить, пер-

вичные они или вторичные; в первом случае выяснить способ непосредственного измерения значений величины и по какой шкале это измерение может быть произведено; во втором случае установить, какой зависимостью связана вторичная величина с первичной.

Заключительный анализ результатов исследования производится для получения теоретических выводов, вытекающих из этого исследования, и практических рекомендаций, которые можно сделать на этой основе. Для этого необходимо установить, *во-первых*, все достоверно полученные в результате исследования качественные и количественные характеристики; *во-вторых*, степень соответствия этих характеристик исходной гипотезе; *в-третьих*, степень согласования полученных фактов с ранее известными, какие из этих фактов являются новыми и в чем, каково их значение для подтверждения или уточнения гипотезы исследования. Овладение педагогом-психологом качественными и количественными методами способствует объективной оценке психологического состояния обучающихся; выявлению причин появляющихся проблем и трудностей; разработке и реализации эффективных программ профилактики и коррекции; оценке эффективности своей работы; обоснованию своих решений и рекомендаций на основе эмпирически подтвержденных данных.

Заключение

Таким образом, в процессе осуществления исследования, на всех его этапах, в том числе и на подготовительном, проводится текущий качественный и количественный анализ полученных результатов. Этот анализ имеет главной своей целью выявление соответствия полученных данных предполагаемому результату с учетом исходной гипотезы. Правильный выбор количественных и качественных методов позволит педагогу-психологу получить необходимые умения и навыки более глубокого осмысления исследуемой проблемы, успешного решения конкретных образовательных задач. Важно помнить, что выбор метода должен быть обоснованным и соответствовать целям исследования, а также учитывать этические принципы. Такой анализ дает возможность, *во-первых*, уточнить эту гипотезу и, если нужно, заменить ее другой или же выдвинуть дополнительную гипотезу, а *во-вторых*, уточнить и скорректировать предварительно составленный план исследования, наметить какие-то дополнительные этапы исследования, новые методы и методики их проведения.

Список литературы

1. Юрьева Т.А., Гришкина Т.Е. Качественные и количественные методы исследования в решении профессиональных задач бакалавров психолого-педагогического образования // Теория и практика общественного развития. 2014. № 5. С. 87-90. DOI: 10.24158/tpor.
2. Летов О.В. Качественные методы исследования в социогуманитарных науках: история и перспективы. Научноисследовательские исследования. 2024. № 3. С. 92-108. DOI: 10.31249/scis/2024.03.06.
3. Расчетина С.А. Количественные и качественные методы исследования процессов социализации современного подростка // Сибирский педагогический журнал. 2020. № 6. С. 102-109. DOI: 10.15293/1813-4718.2006.10.
4. Костромина С.Н., Ануфриев А.Ф., Чмель В.И. Когнитивные, личностные и мотивационные особенности педагога-психолога и эффективность диагностической деятельности // Педагогика и психология образования. 2021. № 4. С. 144-163. DOI: 10.31862/2500-297X-2021-4-144-163.
5. Толкачева Н.В. Актуальные аспекты построения коммуникаций в деятельности педагога-психолога // Маркетинговые коммуникации. 2021. № 2. С. 98-103. DOI: 10.36627/2619-1407-2021-2-2-98-103.
6. Сладкова И.А. Структура личностной готовности к профессиональной деятельности будущих педагогов-психологов // Мир науки. Педагогика и психология. 2023. Т. 11. № 6. С. 86. DOI: 10.15862.
7. Будрейка Н.Н. Непараметрические методы исследования в психологии // Психологическая наука и образование. 2007. Т. 12. № 1. С. 40-48. DOI: 10.17759/pse.
8. Колесников А.С. Педагогические исследования: актуальность и востребованность // Социальная компетентность. 2021. Т. 6. № 3 (21). С. 306-318. DOI: 10.24866/2658-5855.
9. Конева Е.В., Кукубаева А.Х., Рощина Г.О., Русанова Л.С. Факторы самоэффективности педагогов в кросс-культурном контексте // Психологическая наука и образование. 2024. Т. 29. № 5. С. 75-86. DOI: 10.17759/pse.2024290506.
10. Налетова И.В. Междисциплинарность исследований современного образования. Наука. Общество. Государство. 2022. Т. 10. № 4 (40). С. 99-109. DOI: 10.21685/2307-9525-2022-10-4-11.
11. Тамбовцев В.Л. Институциональный анализ экономики: качественные и количественные исследования и методы // Вопросы теоретической экономики. 2024. № 2 (23). С. 45-55. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2024_2_45_55.
12. Кушнарeva Л.В. Становление методологии исследования культуры: количественные методы // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. 2009. Т. 2. № 4-1. С. 135-144. DOI: 10.35231/1818-6653.
13. Тарасов С.В., Зуева И.О., Федерякин Д.А. Изменение образовательного прогресса на основе когнитивных операций // Вопросы образования. 2023. № 3. С. 172-196. DOI: 10.17323/vo-2023-16902.
14. Заир-Бек Е.С. Современная методология проектных исследований инноваций в образовании // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2017. № 185. С. 15-23. DOI: 10.33910/1992-6464.
15. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии: монография. СПб.: Речь, 2007. 349 с.

УДК 379.82
DOI 10.17513/snt.40403

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРАЗДНИЧНОЙ КУЛЬТУРЫ ПОДРОСТКОВ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ КУЛЬТУРЫ

Васильева Е.Н., Сариева М.В.

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный институт культуры», Тюмень,
e-mail: vasilievatyumen@gmail.com

Актуальность выбранной темы обусловлена отсутствием концептуального осмысления в теории и практике социально-культурной деятельности проблемы формирования праздничной культуры сельских подростков как педагогического феномена, оказывающего воспитательное воздействие на личность молодых людей, их культурную идентичность. Цель – обоснование структурно-функциональной модели формирования праздничной культуры подростков в условиях сельских учреждений культуры. Методы исследования включают анализ информационных и методических материалов, вторичных исследований, моделирование. Разработанная модель формирования праздничной культуры сельских подростков характеризуется концептуальностью, интегративностью, многофункциональностью. Модель включает шесть взаимосвязанных компонентов: ценностно-целевой, методологический, содержательный, технологический, организационно-деятельностный и оценочный. Эффективность реализации представленной модели обеспечивается комплексом следующих организационно-педагогических условий: наличие современного материально-технического оснащения, площадок для репетиционных, организационно-творческих мастерских; привлечение квалифицированных специалистов социально-культурной деятельности, имеющих дополнительные компетенции в области подготовки и организации массовых праздничных мероприятий; обеспечение взаимодействия с сельскими учреждениями культуры, родителями, учителями школ, местным креативным сообществом; продвижение праздничных мероприятий через мессенджеры и социальные сети; учет возрастных и личностных особенностей (интересов и предпочтений) подростков в процессе разработки, адаптации, организации праздничных программ; осуществление обратной связи с целью повышения эффективности праздничных мероприятий. Таким образом, предложенная структурно-функциональная модель направлена на реализацию процесса целенаправленного формирования праздничной культуры подрастающего поколения в условиях досуговой деятельности сельских учреждений культуры, способствует успешному вовлечению молодых сельчан в праздничные мероприятия, а также сохранению и укреплению традиционных духовно-нравственных ценностей.

Ключевые слова: праздничная культура, праздник, подростки, досуг, сельские учреждения культуры, структурно-функциональная модель

THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODEL OF THE FORMATION OF THE FESTIVE CULTURE OF ADOLESCENTS IN RURAL CULTURAL INSTITUTIONS

Vasileva E.N., Sarieva M.V.

Tyumen State Institute of Culture, Tyumen,
e-mail: vasilievatyumen@gmail.com

The relevance of the chosen topic is due to the lack of conceptual understanding in the theory and practice of socio-cultural activities of the problem of the formation of the festive culture of rural adolescents as a pedagogical phenomenon that has an educational effect on the personality of young people, their cultural identity. The purpose is to substantiate the structural and functional model of the formation of the festive culture of adolescents in rural cultural institutions. Research methods include the analysis of information and methodological materials, secondary research, and modeling. The developed model for the formation of the festive culture of rural adolescents is characterized by conceptuality, integrativity, and versatility. The model includes six inter-related components: value-oriented, methodological, substantive, technological, organizational-activity and evaluative. The effectiveness of the implementation of the presented model is ensured by a set of organizational and pedagogical conditions: the availability of modern material and technical equipment, sites for rehearsal, organizational and creative workshops; the involvement of qualified specialists in socio-cultural activities with additional competencies in the field of preparation and organization of mass celebrations; ensuring interaction with rural cultural institutions, parents, school teachers, local the creative community; promotion of festive events through messengers and social networks; taking into account the age and personality characteristics (interests and preferences) of teenagers in the process of developing, adapting, and organizing festive programs; providing feedback in order to increase the effectiveness of festive events. Thus, the proposed structural and functional model is aimed at implementing the process of purposeful formation of the festive culture of the younger generation in the conditions of leisure activities of rural cultural institutions, promotes the successful involvement of young villagers in festive events, as well as the preservation and strengthening of traditional spiritual and moral values.

Keywords: holiday culture, holiday, teenagers, leisure, rural cultural institutions, structural and functional model

Введение

Современные реалии, характеризующиеся нарастающей цифровизацией, ухудшением экономического положения, образования и воспитания, отражаются на социализации современных молодых людей сельской местности. С одной стороны, расширяется доступ к большому объему информации и развлечений, что обеспечивает возможности для самообразования и творческой реализации, с другой, проявляется все большая оторванность от семейных и праздничных традиций, истории родной страны. Данная тенденция «содержит в себе риски унификации, вытеснения самобытности традиционных культур народов» [1, с. 14].

Сохранение традиционной праздничной культуры в условиях современного села сегодня зависит и от досуговых ориентаций молодых сельчан-подростков. Именно в данной возрастной категории молодые люди активно развивают свою идентичность, исследуют различные аспекты культуры и социальные роли, их индивидуальные интересы и коллективные увлечения играют ключевую роль в становлении мировоззрения и самоопределении. В этом аспекте обращение к «праздничной культуре» и ее формированию у подрастающего поколения становится все более актуальным.

Отечественные ученые отмечают многомерность и многофункциональность праздничной культуры, ее конструктивный потенциал, который реализуется через праздники и связанные с ними традиции и символы, передаваемые из поколения в поколение. В.И. Крылова, акцентируя внимание на культурном контексте воспитания и образования молодежи, определяет праздничную культуру в двух смыслах. «В широком значении “праздничная культура” представляет совокупность всех праздничных и зрелищных форм. В узком смысле – это праздники, праздничные обычаи, обряды, ритуалы и церемонии» [2, с. 98].

Среди многочисленных теорий праздничной культуры для авторов особое значение имеют: рекреационная (праздник как ответ на потребность в отдыхе), интегративная (праздник как средство консолидации в процессе ритуального оформления значимого и важного для сообщества события) [3, с. 142–143], а также становящаяся все более насущной в современных условиях воспитательная концепция. В рамках обозначенной концепции праздник осмысливается как эффективное средство воспитания, поскольку «определяется высоким уровнем самореализации личности в условиях творчества, эстетики, креативного мышления, воображения, фантазии и досу-

говых интересов и предпочтений», «обеспечивает накал эмоционально-эстетических реакций, праздничного мироощущения и переживания совместного бытия» [4, с. 3].

Анализ вторичных исследований показал, что праздничная культура находится под угрозой исчезновения. Праздники часто рассматриваются как форма развлечения без глубокого понимания их значения для локальной культуры, учета специфических интересов, потребностей, психологических особенностей возраста, понимания особенностей культуры конкретного села, четкого видения того, как можно наиболее эффективно и полно реализовать воспитательный потенциал, заложенный в праздничных традициях.

Специалисты сельских учреждений культуры объясняют сложившуюся ситуацию слабой материально-технической базой, нехваткой кадрового обеспечения. По их мнению, многие традиционные праздники и торжества не адаптированы к современным интересам и предпочтениям молодежи. Отсутствие оригинальности и новаторства в проведении мероприятий приводит к тому, что они воспринимаются как скучные и неактуальные. В связи с этим утверждение о необходимости «искать и находить новые пути и средства приведения социально-культурной деятельности в соответствие с новой социально-культурной ситуацией и новыми требованиями к содержанию и формам вовлечения разных групп населения в мир культуры и социального творчества» сегодня особенно значимо [5, с. 104].

Работники сферы культуры осознают важность рекреационного и развивающего потенциала досуга в формировании праздничной культуры молодых сельчан, поскольку «именно в досуговой сфере удовлетворяется большая часть социокультурных потребностей, проявляется свобода действий подростков за счет самостоятельного выбора форм, мест и времени проведения досуга» [6, с. 341].

Вышесказанное требует от специалистов «внедрять новые технологии, стимулировать стремление молодежной и подростковой аудитории к активному проведению досуга, создавать оптимальные условия для гармоничного развития личности» [7, с. 39].

Тем не менее теоретическое и практическое осмысление социально-культурной деятельности в условиях сельских поселений показало отсутствие концептуального подхода к формированию праздничной культуры, в том числе и в контексте работы с сельскими подростками. Г.А. Опарин справедливо выделяет ряд противоречий, сложившихся на трех уровнях обозначенной проблемы:

– теоретический («между ценностно-нормативными представлениями и отношениями в системе праздничной культуры» и «современными жизненными и социально-культурными инновациями в праздничном календаре, требующими смысло-содержательной интерпретации и определения места и предназначения новых праздников в структуре праздничной культуры общества») [8];

– технологический («между социально-культурным предназначением календарных праздников» и «современной практикой проведения праздничных программ, не в полной мере реализующих социокультурный потенциал для социально-культурного развития людей») [8];

– методический («между социально-культурными целями значительной части новых календарных праздников» и «неработанностью практически эффективных социально-культурных средств, методов и приемов обеспечения праздничной социокультурной коммуникации, используемых для их достижения») [8].

Таким образом, на взгляд авторов, целесообразно рассматривать процесс формирования праздничной культуры сельских подростков с использованием «инновационных и развивающих форм празднично-обрядовой и игровой культуры, зрелищно-развлекательной и психологической релаксации, рекреационно-эстетической системы усвоения культурных ценностей, различных направлений художественного, сценарно-постановочного, актерского и социального мастерства» [4, с. 16].

Все вышеизложенное актуализирует необходимость поиска эффективной модели формирования праздничной культуры сельских подростков как педагогического феномена, оказывающего воспитательное воздействие на личность молодых людей, способствующего их культурной идентичности, укреплению социальных связей и трансляции культурных ценностей.

Цель исследования – обоснование структурно-функциональной модели формирования праздничной культуры подростков в условиях сельских учреждений культуры.

Материалы и методы исследования

Проведен анализ информационных и методических материалов, вторичных исследований, моделирования, освещающих проявления исследуемого феномена в предметном поле социально-культурной деятельности.

Результаты исследования и их обсуждение

Процесс моделирования выполняет важную роль в устранении недостатков

воспитательной системы, является основой педагогической мысли, позволяющей прогнозировать предполагаемый результат [2, с. 98–99]. Моделирование в педагогических исследованиях, как отмечают Л.Х. Рустамов и Н.Р. Уматов, определяется прежде всего наглядностью, определенностью, объективностью и результативностью [9]. Таким образом, представляется целесообразным обратиться к структурно-функциональной модели, основанной на принципах системности, взаимосвязи элементов и адаптивности к изменениям культурной среды.

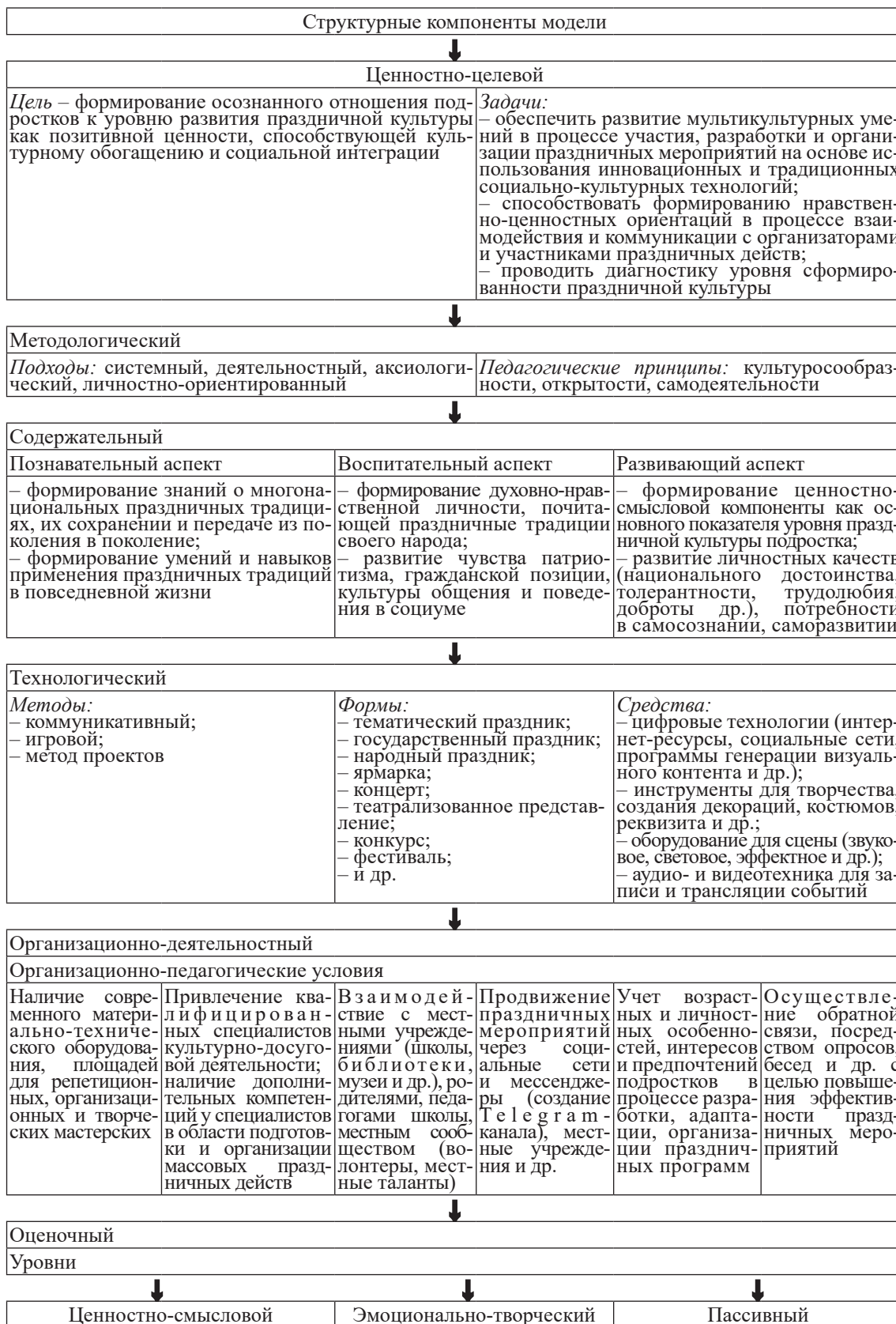
Обозначенная модель, реализуемая в условиях сельских культурно-досуговых учреждений, направлена на оптимизацию взаимодействия всех участников культурных процессов и предоставляет множество преимуществ: повышение качества праздничных программ, расширение технологий вовлечения подростков в социально-культурную деятельность, возможностей для их творческого саморазвития.

Структурно-функциональная модель включает шесть блоков (шесть взаимосвязанных компонентов): ценностно-целевой, методический, содержательный, технологический, организационно-деятельностный, оценочный (таблица).

Ценностно-целевой компонент модели определяет цели и задачи, смысловые ориентиры и ценности, которые должны стать основой изучения и формирования культурных практик, тем более что в центре профессиональной деятельности специалиста в области культуры находится «духовный мир человека, особое внимание к человеческой индивидуальности, отдельному человеку, его самооценности, открытости миру в условиях обострения социальных конфликтов» [10, с. 110].

Цель модели: формирование осознанного отношения подростков к уровню развития праздничной культуры как позитивной ценности, способствующей культурному обогащению и социальной интеграции. Позитивная система ценностей представляет совокупность идеалов, убеждений и принципов, определяющих восприятие мира и поведение в нем, формируется на основе культурных, социальных и личностных факторов, отражая стремления и жизненные ориентации. В такой системе ценностей особое место занимают доброта, честность, уважение, справедливость и любовь к ближнему. Эти качества становятся основой для построения гармоничных взаимоотношений как на индивидуальном уровне, так и в масштабах общества.

**Структурно-функциональная модель формирования праздничной культуры подростков
в условиях сельских учреждений культуры**



Источник: составлено авторами по [2].

Задачи включают: обеспечение развития мультикультурных умений в процессе участия, разработки и организации праздничных мероприятий на основе использования инновационных и традиционных социально-культурных технологий; способствование формированию нравственно-ценностных ориентаций в процессе взаимодействия и коммуникации с организаторами и участниками праздничных действий; проведение диагностики уровня сформированности праздничной культуры.

Методологический компонент модели представляют научные подходы и педагогические принципы, способствующие глубокому анализу досуговой деятельности молодежи. Данный компонент включает следующие подходы: системный, деятельностный, аксиологический и личностно-ориентированный. При *системном подходе* процесс культурно-досуговой деятельности представляется системой со своей преобразующей структурой, имеющей общественно значимую направленность, основу которой составляет совместная любительская, творческая и профессиональная деятельность. *Деятельностный подход* базируется на идее о том, что всесторонне развитая личность формируется в разнообразных видах деятельности и предполагает изучение подростка в процессе досуговой деятельности и обучения его этой деятельности. *Аксиологический подход* проявляется в ориентации личности на социокультурные ценности, признании человека наибольшей общественной ценностью, способной создавать духовные и материальные продукты, удовлетворять собственные и общественные потребности. *Личностно-ориентированный* подход обращен к индивидуальным психологическим особенностям личности подростка при организации досуговой деятельности, где важен учет его интересов и потребностей в культурной и творческой деятельности, развитие и совершенствование.

Принципы. *Принцип культуросообразности* предполагает, что образование подростков в условиях досуговой деятельности строится на основе общечеловеческих ценностей и знании традиций национальных культур, включает освоение молодыми людьми культуры села, исследование местных традиций, культурно-исторического наследия, адаптацию к современным тенденциям. *Принцип открытости* заключается в создании наиболее благоприятных условий для развития способностей и талантов каждого молодого человека в процессе совместной работы школы, семьи, учреждений культуры и других социальных

институтов. *Принцип самодеятельности* предполагает опору на инициативу и самостоятельность подростков, их активное участие в культурно-досуговых мероприятиях не только в качестве зрителей, но и в качестве организаторов.

Содержательный компонент модели включает познавательный, воспитательный и развивающий аспекты работы с подростками, составляет основу, на которой строится программа мероприятий. *Познавательный аспект* направлен на формирование знаний о многонациональных праздничных традициях, их сохранении и передаче, актуальности и значимости в повседневной жизни. *Воспитательный аспект* предполагает формирование духовно-нравственной личности, чтящей праздничные традиции своего народа, развитие чувства патриотизма, гражданской позиции, культуры общения и поведения. *Развивающий аспект* нацелен на формирование ценностно-смыслового компонента как основного показателя уровня праздничной культуры подростка, развитие личностных качеств (национального достоинства, толерантности и т.д.), потребности в самосознании, саморазвитии.

Технологический компонент модели содержит методы, формы и средства.

Методы. *Коммуникативный метод* направлен на практику общения подростков, развитие коммуникативных навыков и умения обосновывать свое мнение, выслушивать и уважать точку зрения оппонента. Метод осуществляется в рамках групповой работы над творческими проектами. *Игровой метод* предполагает включение компонентов игровой деятельности в подготовку и реализацию праздничных действий (воображаемая игровая ситуация, сюжет, роль, действия с предметами, правила). *Проектный метод* ориентирован на самостоятельную деятельность подростков – индивидуальную, парную, групповую. Метод проектов способствует созданию условий для освоения новых видов деятельности в социокультурной среде, развитию способности адаптироваться к изменяющимся условиям.

Формы. Художественно-педагогическая организация досуга, направленная на формирование праздничной культуры сельских подростков, подразумевает разнообразие форм и средств. Подготовка и проведение тематических, национальных, государственных, народных праздников, ярмарок, театрализованных представлений и др. могут быть эффективно реализованы посредством использования цифровых технологий (интернет-ресурсы, социальные сети, про-

граммы для генерации визуального контента и т.д.), инструментов для творчества (создание декораций, костюмов, реквизита и т.д.), сценического оборудования (устройства для звука, освещения и т.д.), аудио- и видеоаппаратуры для записи и трансляции мероприятий.

Организационно-деятельностный аспект модели предполагает реализацию ряда организационно-педагогических условий: наличие современного материально-технического оснащения (освещение, видеопроекция и т.д.), площадок для репетиционных, организационно-творческих мастерских; привлечение квалифицированных специалистов социально-культурной деятельности, имеющих дополнительные компетенции в области подготовки и организации массовых праздничных мероприятий; обеспечение взаимодействия с местными учреждениями (школы, библиотеки, музеи и т.д.), родителями, учителями школ, местным креативным сообществом (волонтеры, местные таланты); продвижение праздничных мероприятий через мессенджеры и социальные сети (создание Telegram-канала для учреждения культуры и т.д.); учете возрастных и личностных особенностей (интересов и предпочтений) подростков в процессе разработки, адаптации, организации праздничных программ; предоставлении обратной связи с целью повышения эффективности праздничных мероприятий.

В процессе разработки *оценочного компонента* модели авторы опирались на следующие уровни формирования праздничной культуры подростков: ценностно-смысловой (высокий), эмоционально-творческий (средний), пассивный (низкий) [11, с. 17].

Оценочный компонент позволяет определить уровень развития праздничной культуры подростков и внести необходимые коррективы. Инструментами выявления отношения, проявления активности и интереса подростков к мероприятиям могут служить методы опроса, беседы, письменные отзывы в социальных сетях и др.

Уровни. Ценностно-смысловой (высокий) – подросток понимает ценность праздничной культуры, ее значимость в контексте досуговых интересов, имеет знания о праздниках, праздничных традициях и обычаях; испытывает национальную гордость за страну; стремится изучать культуру родного края и реализовать себя в культурном пространстве. *Эмоционально-творческий художественный (средний)* – подросток испытывает творческую активность и эмоциональный подъем в процессе подготовки, участия и организации массовых праздни-

чных действий, проявляет эмоционально-эстетическое отношение к потреблению ценностей праздничного досуга. *Пассивный (низкий)* – отсутствие у подростка интереса к национальной праздничной культуре, мотивации к участию в различных направлениях и формах организации праздничного досуга. Слабо выраженное стремление к социальному взаимодействию и творческой самореализации. Низкий уровень общей и речевой культуры.

Заключение

Подводя итог, важно отметить, что в данной статье представлено теоретическое обоснование и описание модели, а также предполагаемые результаты. В перспективе планируется реализация представленной модели с описанием хода опытно-экспериментального исследования.

Предложенная структурно-функциональная модель направлена на устранение сложившихся противоречий в реализации процесса целенаправленного формирования праздничной культуры подрастающего поколения в условиях досуговой деятельности сельских учреждений культуры. Модель способствует расширению возможностей по эффективному вовлечению молодых сельчан в праздничные мероприятия, а также сохранению и укреплению традиционных духовно-нравственных ценностей.

Список литературы

1. Бояк Т.Н. О сохранении традиционной праздничной культуры в условиях современного села // Вестник Кемеровского государственного университета культуры и искусств. 2022. № 60. С. 13–18. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49571586> (дата обращения: 05.03.2025). DOI: 10.31773/2078-1768-2022-60-13-18.
2. Крылова В.И. Праздничная культура как система педагогического моделирования в творческом вузе // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 6 (108) Ч. 4. С. 98–102. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46267562> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.23670/IRJ.2021.108.6.116.
3. Артющкина В.В. Праздничная культура как способ репрезентации культурной памяти // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2017. № 5 (79). С. 138–145. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32499525> (дата обращения: 26.02.2025).
4. Хайруллина А.А. Педагогические условия формирования досуговых потребностей молодежи средствами праздничной культуры: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Казань: ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», 2019. 23 с. [Электронный ресурс]. URL: (дата обращения: 05.03.2025).
5. Ариарский М.А. Новый этап в развитии теории социально-культурной деятельности // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2013. № 1 (51). С. 102–109. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18862947> (дата обращения: 26.02.2025).
6. Бородина А.В., Тихонова А.С. Цифровизация практики досуга молодых россиян и ее социальные последствия // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 11. С. 33–41. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49571586>

ru/item.asp?id=47391769 (дата обращения: 05.03.2025). DOI: 10.24412/2500-1000-2021-11-2-33-41.

7. Дроздова В.П. Досуг сельской молодежной и подростковой аудитории на современном этапе развития общества // Вестник науки. 2020. № 1 (22). С. 33–40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41849454> (дата обращения: 06.03.2025).

8. Опарин Г.А. Праздничный потенциал социально-культурного развития // Концепт. 2015. № 13. С. 2676–2680. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23584325> (дата обращения: 06.03.2025).

9. Рустамов Л.Х., Уматов Н.Р. Теоретические основы педагогического моделирования // Наука и мир.

2020. № 2–2 (78). С. 59–62. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43787418> (дата обращения: 06.03.2025).

10. Васильева Е.Н. Теоретико-методологические аспекты исследования социокультурного образования // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 294. С. 109–112. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12158308> (дата обращения: 05.03.2025).

11. Зайнутдинова А.А. Формирование досуговых интересов современной молодежи средствами национального музыкального искусства: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Казань: ФГБОУ ВО «Казанский государственный институт культуры», 2012. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19369039> (дата обращения: 05.03.2025).

УДК 372.881.111.22
DOI 10.17513/snt.40404

ТЕХНОЛОГИЯ CHATGPT-4O КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Вишленкова С.Г.

*ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева»,
Саранск, e-mail: svetlana.vishlenkova@yandex.ru*

В статье рассматривается проблема формирования лингвистической компетенции будущих учителей иностранного языка посредством Chat-4o. Автор обосновывает значимость формирования лингвистической компетенции как важного компонента иноязычной коммуникативной компетенции, необходимой для успешной социализации будущего учителя иностранного языка. На основе анализа работ по теме исследования уточняется понятие лингвистической компетенции, ее основные компоненты. Обосновывается актуальность использования ChatGPT-4o в процессе формирования лингвистической компетенции будущих учителей иностранного языка. В ходе педагогического эксперимента была разработана и апробирована методика, включающая комплекс запросов к Chat-4o на создание языковых, условно-речевых и речевых упражнений и заданий для поэтапного формирования лингвистической компетенции у будущих учителей иностранного языка. Представлены результаты оценки уровня лингвистической компетенции, проведенной до и после внедрения экспериментальной методики. Анализ полученных данных подтверждает эффективность использования технологии ChatGPT-4o для развития языковых навыков, имитации реальной коммуникации, автоматизированного контроля прогресса и индивидуализированного подхода к обучению иностранному языку. Автор приходит к выводу о целесообразности интеграции ChatGPT-4o в процесс обучения иностранному языку как эффективного средства формирования лингвистической компетенции будущих учителей иностранного языка. Подчеркивается необходимость дальнейших исследований, направленных на расширение возможностей применения Chat-4o для формирования социокультурного и других компонентов коммуникативной компетенции.

Ключевые слова: иностранный язык, технология ChatGPT-4o, лингвистическая компетенция, методика обучения, комплекс запросов

Статья публикуется при поддержке гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям научной деятельности вузов – партнеров по сетевому взаимодействию.

CHATGPT-4O TECHNOLOGY AS A MEANS OF FORMING THE LINGUISTIC COMPETENCE OF FUTURE FOREIGN LANGUAGE TEACHERS

Vishlenkova S.G.

*Mordovian State Pedagogical University named after M.E. Evsevev, Saransk,
e-mail: svetlana.vishlenkova@yandex.ru*

The article discusses the problem of forming the linguistic competence of future foreign language teachers through CHAT-4o. The author substantiates the importance of the formation of linguistic competence as an important component of foreign language communicative competence necessary for the successful socialization of a future foreign language teacher. Based on the analysis of works on the research topic, the concept of linguistic competence and its main components are clarified. The relevance of using ChatGPT-4o in the process of forming the linguistic competence of future foreign language teachers is substantiated. During the pedagogical experiment, a methodology was developed and tested, including a set of Chat-4o requests for the creation of language, conditional speech and speech exercises and tasks for the step-by-step formation of linguistic competence among future foreign language teachers. The results of the assessment of the level of linguistic competence carried out before and after the introduction of the experimental methodology are presented. The analysis of the data obtained confirms the effectiveness of using ChatGPT-4o technology for the development of language skills, imitation of real communication, automated progress monitoring and an individualized approach to learning a foreign language. The author comes to the conclusion that it is advisable to integrate ChatGPT-4o into the process of teaching a foreign language as an effective means of forming the linguistic competence of future foreign language teachers. The need for further research aimed at expanding the possibilities of using CHAT-4o for the formation of socio-cultural and other components of communicative competence is emphasized.

Keywords: foreign language, ChatGPT-4o technology, linguistic competence, teaching methods, set of queries

The article is published with the support of a grant for conducting research work in priority areas of scientific activity of universities – partners in network interaction.

Введение

Социально-экономические преобразования в России предъявляют повышенные требования к качеству подготовки специалистов, способных успешно функционировать в глобальной экономике. Особую значимость приобретают вопросы совершенствования профессиональной подготовки выпускников педагогических вузов, в частности будущих учителей иностранного языка. На сегодняшний день обществу нужны профессионалы нового типа, способные адаптироваться к новым, непрерывно меняющимся условиям, быстро реагировать на потребности и запросы работодателей и участников образовательных отношений, имеющие сложившийся духовно-личностный и творческий опыт, не нуждающиеся в инструкциях, с опытом профессиональной деятельности на основе практических умений [1, с. 71].

В этой связи одной из приоритетных задач профессиональной подготовки современного учителя иностранного языка является эффективное формирование иноязычной коммуникативной компетенции, необходимой для активного и полноценного взаимодействия как в повседневной жизни, так и в профессиональной деятельности. Успешное формирование иноязычной коммуникативной компетенции невозможно без сформированности всех ее базовых компонентов, одним из которых является лингвистическая компетенция. Лингвистическая компетенция обеспечивает учителю возможность свободно владеть иностранным языком и эффективно использовать его для решения профессиональных задач. Как отмечает Е.В. Семенова, «этот вид компетенции наряду с другими априори является ведущим в деятельности учителя иностранного языка. <...> Лишь развитое филологическое мышление и сформированная лингвистическая компетенция учителя иностранного языка наряду со свободным владением практическим курсом языка и методикой его преподавания обеспечивают эффективность профессиональной деятельности в области иноязычного образования» [2, с. 275].

На основе анализа существующих определений [3; 4] лингвистическая компетенция будущего учителя иностранных языков определяется как совокупность знаний, умений и навыков, необходимых для эффективного иноязычного общения в различных сферах жизнедеятельности с учетом общепринятых языковых норм. Лингвистическая компетенция подразумевает наличие сформированных фонетических, лексиче-

ских и грамматических навыков, служащих основой для развития речевых умений в аудировании, чтении, письме и говорении. Сформированные фонетические навыки характеризуются глубоким пониманием фонетической системы языка и способностью анализировать ее элементы. Это проявляется в знании артикуляционной базы, умении анализировать и транскрибировать иноязычную речь, понимать фоностилистические особенности и использовать их для адаптации произношения к различным коммуникативным ситуациям, а также умении грамотно интонировать и выступать публично. Лексические навыки позволяют эффективно использовать словарный запас для достижения коммуникативных целей. Они включают в себя: умение выбирать наиболее подходящие слова из синонимического ряда с учетом контекста и стилистической окраски высказывания; способность анализировать и сравнивать лексику родного и иностранного языков для предотвращения интерференции; активное пополнение словарного запаса, включая фразеологизмы. Под сформированными грамматическими навыками понимается способность применять грамматические знания для создания и понимания связных, грамматически корректных высказываний в устной и письменной форме, адекватно ситуации общения и цели коммуникации. Это включает в себя знание морфологических норм, умение строить синтаксически правильные предложения и использовать служебные слова для логической связи [4, с. 633]. Таким образом, лингвистическая компетенция характеризуется многоаспектностью и включает теоретический, языковой и речевой компоненты.

Вместе с тем в процессе профессиональной подготовки будущих учителей иностранного языка существует ряд противоречий, которые подчеркивают необходимость целенаправленного формирования их лингвистической компетенции:

1. Противоречие между индивидуальными потребностями студентов и унифицированной программой обучения. Студенты поступают в университет с разным уровнем языковой подготовки, однако учебная программа часто не учитывает эти индивидуальные различия, что может приводить к тому, что более слабые студенты не успевают за программой, а более сильные не получают достаточного развития.

2. Противоречие между традиционными методами обучения и современными требованиями к учителю иностранного языка. Хотя традиционные методы обучения иностранным языкам и эффективны, они часто

ориентированы на пассивное усвоение знаний, в то время как современному учителю необходимо активно развивать коммуникативные навыки, обеспечивать индивидуализацию и мотивацию, а также создавать интерактивную обучающую среду.

3. Противоречие между возрастающей ролью цифровых технологий в образовании и недостаточной готовностью учителей к их использованию. Современные технологии предлагают огромные возможности для обучения иностранным языкам (мобильные приложения, онлайн-платформы, интерактивные доски и др.), однако многие учителя не обладают достаточными навыками для их эффективного использования.

Таким образом, разрешение этих противоречий требует пересмотра подходов к профессиональной подготовке будущих учителей иностранного языка, с акцентом на развитие практических навыков, индивидуализацию обучения, использование современных технологий и создание условий для погружения в языковую среду. Только в этом случае можно обеспечить эффективное формирование лингвистической компетенции, отвечающей требованиям современной школы.

В этой связи одним из перспективных направлений является использование чат-ботов с генеративным искусственным интеллектом, в частности ChatGPT-4o. Под чат-ботом в данном исследовании понимается «диалоговая обучающая программа, способная на основе технологий естественного языка и машинного обучения и заложенных в нее алгоритмов речевого поведения человека развивать иноязычные устные и письменные речевые умения обучающегося посредством поддержания с ним диалога и имитации человеческой речи» [5, с. 68].

Эффективность применения чат-ботов с генеративным искусственным интеллектом в образовательной среде определяется их дидактическими возможностями: они позволяют разрабатывать индивидуальные траектории обучения, имитировать речемыслительную деятельность для решения учебных, коммуникативных задач и профессиональных задач, автоматизировать контроль усвоения учебного материала обучающимися, предоставлять им обратную связь и анализировать процесс обучения [6, с. 12].

Выбор Chat-4o в качестве инструмента для формирования лингвистической компетенции будущих учителей иностранных языков является обоснованным и обусловлен следующими факторами:

1. Chat-4o обладает продвинутыми алгоритмами генерации текста, позволяя создавать грамматически правильные, стили-

стически разнообразные и контекстуально уместные тексты на изучаемом иностранном языке. Это особенно полезно для демонстрации разнообразных языковых конструкций и расширения словарного запаса.

2. Данный чат-бот демонстрирует более точное понимание языковых особенностей изучаемого иностранного языка по сравнению с предыдущими моделями, включая идиомы, фразеологизмы и культурные отсылки, что позволяет давать более релевантные и точные ответы на вопросы.

3. Chat-4o может предоставлять детальную обратную связь по письменным и устным заданиям, а также давать индивидуальные рекомендации по улучшению языковых навыков.

4. Chat-4o может имитировать различные ситуации общения на иностранном языке, такие как собеседования, презентации, дебаты и дискуссии, позволяя будущим учителям практиковать свои навыки в безопасной и контролируемой среде.

5. Chat-4o может включать элементы геймификации, такие как баллы, награды и соревнования, чтобы сделать процесс обучения более увлекательным и мотивирующим.

6. Непрерывная доступность Chat-4o и предоставление моментальной обратной связи.

7. Chat-4o может генерировать учебные материалы для обучающихся, такие как планы уроков, упражнения, тесты и контрольные работы с учетом индивидуальным потребностей и уровня владения языком.

Важно отметить, что вопросы использования технологий искусственного интеллекта в обучении иностранным языкам рассматривались в исследованиях многих авторов с различных позиций (Е.В. Бурина [7], М.Н. Евстигнеев [8], С.В. Титова, К.Т. Темурян [9] и др.). Проанализировав работы исследователей, можно сделать вывод, что интерес к технологиям искусственного интеллекта, прежде всего, обусловлен их значительным дидактическим потенциалом и возможностями для преподавания иностранных языков в академической среде [10]. По мнению П.В. Сысоева, на современном этапе искусственный интеллект можно считать равноправным субъектом образовательного пространства, входящим в триаду «обучающийся – искусственный интеллект – педагог» [11].

Несмотря на признание эффективности искусственного интеллекта в повышении качества иноязычного образования, Н.В. Кузнецова призывает к умеренности в использовании новых технологий, подчеркивая важность сохранения ведущей роли преподавателя в образовательном процессе [12].

В контексте данного исследования интерес представляют работы П.И. Лобеевой [13], А.Г. Кравцовой [14], посвященные изучению лингводидактического потенциала в учебном процессе чат-ботов, таких как Perplexity, Cleverbot, Mondly, Kandinsky, Twee, Replika AI, Speak_league, Chat-3. Однако следует отметить малочисленность на данный момент исследований по проблеме изучения возможностей использования ChatGPT-4o в обучении иностранным языкам. Кроме того, большинство исследований носит фрагментарный характер и не рассматривает комплексное воздействие ChatGPT-4o на все компоненты лингвистической компетенции. Данная работа в определенной степени призвана решить эту проблему.

Целью исследования является теоретическое обоснование и экспериментальная проверка эффективности использования ChatGPT-4o в формировании лингвистической компетенции будущих учителей иностранного языка.

Исследование направлено на решение следующих задач: обоснование применения ChatGPT-4o для развития лингвистической компетенции формирования лингвистической компетенции будущих учителей иностранного языка; выявление и описание организационно-педагогических условий для эффективного формирования лингвистической компетенции студентов языковых факультетов педагогических вузов посредством использования ChatGPT-4o; разработка и описание комплекса запросов к ChatGPT-4o на создание упражнений и заданий для поэтапного формирования лингвистической компетенции у будущих учителей иностранных языков; разработка практических рекомендаций по организации самостоятельной работы студентов над языковым материалом, опирающимся на комплекс специально разработанных запросов к ChatGPT-4o.

Материалы и методы исследования

Обучение иностранному языку с помощью ChatGPT-4o было организовано на базе факультета иностранных языков Мордовского государственного педагогического университета имени М.Е. Евсевьева в течение пятого семестра 2024/2025 учебного года. В исследовании приняли участие студенты третьего курса направления подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование», профиля подготовки «Иностранный язык (английский). Иностранный язык (немецкий)», обучающиеся в двух группах. Таким образом, для проведения эксперимента одна из групп являлась экспериментальной (ЭГ), другая – контрольной (КГ).

С целью решения поставленных исследовательских задач были использованы следующие методы: теоретические (анализ, синтез и систематизация психолого-педагогической и методической литературы) и эмпирические (апробация методики, статистический анализ данных). Применение данного комплекса методов позволило выявить ключевые тенденции и закономерности в исследуемой области.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование проводилось в три этапа: подготовительный, проектировочный, экспериментальный. На подготовительном этапе в ходе изучения психолого-педагогической и методической литературы была определена степень изученности проблемы, что позволило сформулировать цель, задачи и основные направления работы. На этапе проектирования были определены содержание, средства, формы, подходы и принципы обучения, сформулированы организационно-педагогические условия, а также создан комплекс запросов к ChatGPT-4o для разработки упражнений и заданий по языковым аспектам с учетом уровня владения немецким языком и успеваемости студентов по конкретным учебным темам. В рамках третьего этапа осуществлялась апробация разработанного методического обеспечения по формированию лингвистической компетенции у будущих учителей иностранного языка.

Теоретическую основу разработки методики формирования лингвистической компетенции у будущих учителей иностранного языка посредством использования ChatGPT-4o составили принципы, предложенные представителями тамбовской методической школы П.В. Сысоевым, М.Н. Евстигнеевым:

1. Принцип целесообразности, предполагающий рациональное применение технологий искусственного интеллекта для углубленного понимания студентами языковых средств, их системной организации и коммуникативных функций в различных ситуациях общения.

2. Принцип коммуникативной направленности. Учебный процесс должен быть ориентирован на формирование коммуникативных умений и навыков, необходимых для эффективного иноязычного общения в различных сферах профессиональной деятельности. Использование ChatGPT-4o позволяет имитировать реальные коммуникативные ситуации, способствуя отработке языковых навыков и развитию речевых умений.

2. Принцип персонализации обучения. Искусственный интеллект способен предложить каждому студенту учебные материалы и задания, адаптированные к его индивидуальным потребностям и особенностям.

3. Принцип интерактивности. Использование искусственного интеллекта обеспечивает возможность практиковать язык в интерактивном режиме. В процессе общения с GPT-4o обучающиеся получают немедленную обратную связь, что позволяет выявлять и корректировать ошибки в реальном времени.

4. Принцип контекстуального обучения. Контекстуальное обучение иностранному языку подразумевает представление материала в релевантном и значимом для студентов контексте. Такой подход способствует лучшему усвоению информации и использованию языка в реальных коммуникативных ситуациях.

5. Принцип доступности. Современные технологии обеспечивают доступность образования, делая процесс обучения простым и удобным для широкого круга пользователей.

6. Принцип включенного оценивания, реализованный с помощью искусственного интеллекта, обеспечивает непрерывную обратную связь, позволяя выявлять сильные и слабые стороны обучения и оперативно корректировать учебный процесс для повышения его эффективности [8, с. 317–319].

В рамках исследования были определены следующие организационно-педагогические условия, необходимые для успешного формирования лингвистической компетенции будущих учителей иностранного языка посредством использования чат-бота:

1) обеспечение доступа к чат-боту с различных устройств и платформ;

2) уровень владения немецким языком у обучающихся не ниже B1 по шкале CEFR;

3) мотивация и вовлеченность: создание позитивного отношения к использованию чат-бота как инструмента обучения, разработка заданий, стимулирующих взаимодействие с чат-ботом, обеспечение четкого понимания целей и задач обучения с использованием чат-бота, стимулирование самостоятельности и инициативы в использовании чат-бота для изучения языка, поддержка рефлексии и самооценки результатов работы с чат-ботом;

4) цифровая компетентность преподавателя;

5) поэтапный алгоритм обучения, выстроенный в соответствии с трехчастной структурой процесса обучения языковым аспектам с использованием чат-бота;

6) наличие комплекса запросов к ChatGPT-4o по созданию заданий и упражнений, ориентированных на развитие различных аспектов лингвистической компетенции;

7) системный характер обучения языковым аспектам с использованием ChatGPT-4o, отслеживание и контроль результатов обучения;

8) использование Chat-4o в сочетании с традиционными методами обучения.

При определении содержания обучения базовым аспектам лингвистической компетенции были учтены требования рабочей программы по дисциплине «Практический курс немецкого языка» для студентов третьего курса факультета иностранных языков, обучающихся по направлению подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование», профилю подготовки «Иностранный язык (английский, немецкий)». Основными средствами обучения в рамках предлагаемой методики являются чат-бот ChatGPT-4o, традиционные учебники и пособия по немецкому языку.

Для практической реализации цели исследования был создан комплекс запросов к Chat-4o для разработки упражнений и заданий на формирование лингвистической компетенции обучающихся с учетом уровня владения немецким языком. При разработке запросов учитывалась трехэтапная структура обучения языковым аспектам: 1) презентация и первичное закрепление материала; 2) формирование и автоматизация языковых навыков; 3) речевая практика. Комплекс запросов предназначен для методической поддержки студентов посредством создания языковых, условно-речевых и речевых упражнений с помощью Chat-4o, ориентированных на формирование лингвистической компетенции обучающихся.

Примеры разработанных запросов

I. Презентация и первичное закрепление материала

1. *Erstelle eine Liste mit Stichwörtern zum Thema «Einkaufen», die Vokale und Konsonanten enthalten, die für Stufe B1 schwierig sind. / Составь список ключевых слов по теме «Einkaufen», которые содержат звуки, представляющие трудности для уровня B1. Обучающиеся повторяют звуки, вызывающие трудности произношения на немецком языке. Целью сгенерированного ChatGPT-4o задания является выявление, актуализация и расширение лексического запаса по теме «Покупки», совершенствование навыков произношения посредством предоставления транскрипции, закрепление свя-*

зи между написанием и произношением немецких слов, формирование основы для последующей отработки проблемных звуков и улучшения произношения в контексте изучаемой темы.

2. *Erkläre mit Beispielsätzen für das Niveau B1, wie die Adjektive im Deutschen dekliniert werden?* / Объясни с примерами предложений для уровня B1, как склоняются прилагательные в немецком языке. Данное задание имеет целью оказание методической поддержки обучающимся в изучении грамматического материала по теме «Склонение прилагательных». В ходе выполнения сгенерированного GPT-4o задания студенты знакомятся с правилом склонения прилагательных, рекомендациями, как определить тип склонения, примерами каждого типа склонения.

3. *Erstelle eine Tabelle zum Thema „Einkaufen“ für das Niveau B1. Schreibe 10 Nomen in Spalte 1. In Spalte 2. schreibe passende Verben, in Spalte 3 – Adjektive. Nenne in Spalte 4 jeweils einen Beispielsatz.* / Составь таблицу по теме «Покупки» для уровня B1. Запиши 10 существительных в колонку 1. В колонку 2 запиши подходящие глаголы, в колонку 3 – прилагательные в столбец 3. Приведи пример предложения в колонке 4. Обучающиеся знакомятся с основными словами и выражениями по теме для дальнейшего использования в коммуникативных ситуациях. Цель данного задания – систематизировать и активизировать лексику по теме «Покупки», укрепить ассоциативные связи между существительными, глаголами и прилагательными в рамках темы, развить навыки построения грамматически правильных предложений с использованием ключевой лексики по теме «Покупки».

4. *Erstelle das Spiel: „Finde das unbekannte Wort!“ (B1-Niveau) zum Thema „Einkaufen“.* / Придумай игру «Найди в тексте неизвестное слово» по теме «Покупки» для уровня B1. Студенты в ходе выполнения задания читают данный текст по теме «Покупки» индивидуально, выписывают неизвестные слова. Обмениваются друг с другом своими списками слов и пытаются отгадать их значение по контексту. Объясняют друг другу значение слов. За каждое правильное объяснение значения слова обучающийся получает 1 балл. Выигрывает тот, кто набрал большее количество баллов. Сгенерированное задание направлено на расширение словарного запаса по теме «Покупки» посредством активного поиска и анализа неизвестных слов в контексте, развитие навыков догадки значения слов по контексту, совершенствование коммуникативных навыков через объяснение и обсуждение зна-

чений слов, активизация процесса обучения и повышение мотивации к изучению новых слов посредством игры.

II. Формирование и автоматизация языковых навыков в рамках изучаемой темы

5. *Erstelle eine Imitationsübung zum Thema „Deklination der Adjektive im Deutschen“ für das Niveau B1.* / Разработай имитативное упражнение для уровня B1. В предложениях вместо выделенного курсивом существительного обучающиеся вставляют существительное в скобках, изменив при этом прилагательное. Цель имитативного упражнения состоит в автоматизации грамматических навыков по теме «Склонение прилагательных».

6. *Erstelle eine Transformationsübung zum Thema „Deklination der Adjektive im Deutschen“ für das Niveau B1.* / Разработай трансформационное упражнение к теме «Покупки» для уровня B1. Студенты преобразуют предложения по образцу, обращая при этом внимание на правильное склонение прилагательного. Цель трансформационного упражнения состоит в практическом применении и закреплении навыков склонения прилагательных для улучшения грамматической точности и беглости речи.

7. *Erstelle eine Substitutionsübung zum Thema „Einkaufen“ für die Niveaustufe B1.* / Разработай подстановочное упражнение по теме «Покупки» для уровня B1. В сгенерированном упражнении в субституции обучающиеся вместо подчеркнутых слов в предложениях вставляют подходящие слова из данного списка слов, при этом изменяя грамматическую форму. Цель упражнения – расширить словарный запас по теме «Покупки», научив студентов использовать новые слова и выражения в контексте, закрепить понимание грамматических структур, особенно касающихся падежей, склонений и согласований, требуемых в контексте изучаемой темы, развить способность быстро анализировать грамматическую структуру предложения и выбирать подходящее слово из списка, внося необходимые изменения.

III. Речевая практика

8. *Erstelle eine Frage-Antwort-Übung zum Thema „Deklination der Adjektive“ für das Niveau B1. (Das Kommunikationsthema „Einkaufen“)* / Разработай вопросно-ответное упражнение по теме «Склонение прилагательных» (Разговорная тема: «Покупки») для уровня B1. Студенты отвечают на вопросы, используя прилагательные в правильной форме. Цель вопросно-ответного упраж-

нения – формирование автоматизма в использовании правильных окончаний прилагательных в реальных коммуникативных ситуациях по теме «Покупки».

9. *Erstelle eine Übung zur Situation „Ein perfekter Einkaufstag“ für das Niveau B1. / Разработай упражнение по ситуации «Идеальный день шопинга» для уровня B1.* В парной работе студенты планируют идеальный день шопинга в своем городе/районе. Представляют свой план шопинга. Обсуждают, какие планы показались наиболее интересными и реалистичными. Конечная цель ситуативного упражнения состоит как в развитии языковых навыков, так и в коммуникативной компетенции.

10. *Erstelle eine Reproduktionsübung zum Thema „Einkaufen“ für das Niveau B1. / Разработай репродуктивное упражнение по теме «Покупки» для уровня B1.* Обучающиеся пересказывают устно или письменно заданный текст о походе в магазин. Используют прилагательные в правильной форме, прошедшее время (Präteritum или Perfekt). Репродуктивное упражнение направлено на укрепление базовых языковых навыков и подготовку к более продвинутому использованию языка.

На констатирующем этапе эксперимента с целью определения уровня сформированности лингвистической компетенции обучающихся было проведено входное тестирование. Тест включал задания различных типов, направленных на проверку знания фонетики, лексики, грамматики, а также навыков аудирования и письма, в соответствии с уровнем B1. В частности, студентам предлагалось:

1. Выбрать правильный вариант ответа из предложенных (30 заданий).
2. Образовать новую лексическую единицу, преобразовав исходное слово в отглагольное существительное, прилагательное, наречие или другую часть речи (5 заданий).
3. Преобразовать слово в необходимую грамматическую форму (склонение, спряжение и т.д.) (5 заданий).
4. Заполнить пробелы в тексте, выбирая подходящие варианты из предложенного списка (5 заданий).
5. Заполнить пропуски в тексте, воспроизведенном на слух, подходящим словом, числом или фразой (5 заданий).
6. Написать сообщение объемом 80–100 слов в соответствии с заданной коммуникативной ситуацией (1 задание).

Максимальный балл за выполнение тестовых заданий (пункты 1–5) составлял 1 балл за каждый правильный ответ, за выполнение письменного задания – 5 баллов. Таким образом, максимальное количество

баллов за тест – 55. Проходной балл (минимальный балл, необходимый для успешного прохождения теста) составлял 35.

Учебный процесс в экспериментальной и контрольной группах включал практические занятия и самостоятельную работу по темам «Покупки» и «Прием пищи». Грамматической основой данных тем являлось изучение типов склонения прилагательных, образования и употребления степеней сравнения прилагательных в немецком языке. Обучение языковым аспектам (лексике, грамматике и фонетике) в контрольной группе строилось на традиционных принципах, с использованием заданий и упражнений из учебника «Sicher! B1». В экспериментальной группе была апробирована разработанная методика, предполагающая активное использование заданий и упражнений, сгенерированных Chat-4o на основании заданных запросов. Интеграция этих материалов осуществлялась как в рамках аудиторных занятий, так и при организации самостоятельной работы студентов.

На начальном этапе эксперимента студенты экспериментальной группы получили информацию о возможностях Chat-4o в контексте изучения языковых аспектов и познакомились с практическими рекомендациями по организации самостоятельной работы на основе комплекса специально разработанных запросов к ChatGPT-4o. Предложенные рекомендации предполагали последовательное самостоятельное выполнение заданий и упражнений, сгенерированных Chat-4o, ориентированных на формирование и практическое применение фонетических, лексических и грамматических навыков в соответствии с этапами их становления. Важно отметить, что рекомендации не предусматривали ограничений по объему или времени самостоятельного выполнения упражнений и заданий, что обеспечило возможность адаптации к индивидуальным потребностям, способностям, уровню языковой подготовки и темпу обучения каждого конкретного обучающегося. Кроме того, уже на этапе выполнения языковых, условно-речевых упражнений в рамках изучения темы „Einkaufen“ («Покупки») обучающимся с более высоким уровнем владения немецким языком было предложено самостоятельно разработать запросы к ChatGPT-4o по созданию заданий и упражнений, ориентированных на развитие различных аспектов лингвистической компетенции. Дальнейшее изучение темы *Mahlzeiten* («Прием пищи») показало, что практически все студенты приобрели навыки самостоятельного составления подобных запросов к Chat-4o.

Результаты тестирования в начале и конце эксперимента

	До эксперимента		После эксперимента	
	ЭГ	КГ	ЭГ	КГ
Доля студентов, не прошедших тест	47 % (6)	40 % (7)	7 % (1)	34 % (6)
Доля студентов, прошедших тест	53 % (7)	60 % (8)	93 % (12)	66 % (9)

Источник: составлено автором на основе [15].

Контроль уровня сформированности языковых навыков на первом и втором этапах осуществлялся посредством анализа предоставленных студентами скриншотов или распечатанных материалов, демонстрирующих выполнение заданий и упражнений, а также в формате устного опроса. Этап речевой практики предполагал аудиторное выполнение контрольных тестов и речевых упражнений, а также оценку навыков практической речевой деятельности в устной и письменной форме, основанной на моделировании подлинного коммуникативных ситуаций.

По завершении опытно-экспериментального обучения проводилось итоговое тестирование с использованием одинаковых контрольно-измерительных материалов для обеих групп. Тестовые задания были разработаны в соответствии с формулировками, указанными ранее. Для оценки различий в уровне сформированности лингвистической компетенции между контрольной и экспериментальной группами использовался критерий Фишера (уровень значимости 0,05, фкрит = 1,64) [5]. Изначально, фэмп (0,026) не превышал фкрит, что обосновало принятие нулевой гипотезы (H0) об отсутствии значимых различий. Однако после эксперимента фэмп (2,13) оказался выше фкрит, что потребовало отвергнуть H0 и принять альтернативную гипотезу (H1), подтверждающую наличие значимых различий. Таким образом, экспериментальная группа показала более высокий уровень сформированности лингвистической компетенции по сравнению с контрольной группой. Информация о результатах испытаний до и после эксперимента представлена в таблице.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило эффективность использования ChatGPT-4o при формировании лингвистической компетенции будущих учителей иностранного языка. В ходе проведенного эксперимента было установлено, что внедрение в учебный процесс предложенного комплекса запросов к ChatGPT-4o на создание языковых, условно-речевых и речевых упражнений

в совокупности с практическими рекомендациями по организации самостоятельной работы студентов над языковым материалом с опорой на разработанные запросы способствует формированию лингвистической компетенции у будущих учителей иностранного языка. Данный вывод подтверждается результатами сравнительного анализа входного и итогового тестирования в контрольной и экспериментальной группах обучающихся.

Таким образом, технология ChatGPT-4o, интегрированная в процесс обучения иностранному языку, выступает как эффективное средство формирования лингвистической компетенции, включающее возможности развития языковых навыков, имитации реальной коммуникации, автоматизированного контроля прогресса и индивидуализированного подхода к обучению иностранному языку.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности внедрения подобных методик в образовательную практику и подчеркивают важность дальнейшего изучения их эффективности. Перспективы дальнейших исследований видятся в изучении потенциала Chat-4o для формирования социокультурной и других ключевых составляющих коммуникативной компетенции у будущих учителей иностранного языка.

Список литературы

1. Левина Е.А., Вишленкова С.Г., Варданян Л.В. Формирование функциональной грамотности у будущих учителей иностранных языков // Гуманитарные науки и образование. 2023. Т. 14. № 3 (55). С. 70–76. DOI: 10.51609/2079-3499_2023_14_03_70.
2. Семенова Е.В., Казанцева Я.Н., Ростова М.Л. Возможности и ограничения MOODLE для формирования лингвистической компетенции будущих учителей иностранного языка // Проблемы современного педагогического образования. 2022. № 76–1. С. 274–277.
3. Оглуздина Т.П. Структура языковой компетенции в концепциях ученых зарубежной и отечественной методики обучения иностранным языкам // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2012. № 11 (126). С. 116–119.
4. Юдина Т.В. Обоснование структуры лингвистической компетенции как компонента коммуникативной компетенции студента языкового вуза // Педагогика. Вопросы теории и практики. 2021. Т. 6. № 4. С. 629–636. DOI: 10.30853/ped210100.

5. Сысоев П.В., Филатов Е.М. Чат-боты в обучении иностранному языку: преимущества и спорные вопросы // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2023. Т. 28. № 1. С. 66–72. DOI: 10.20310/1810-0201-2023-28-1-66-72.
6. Сысоев П.В. Искусственный интеллект в образовании: осведомленность, готовность и практика применения преподавателями высшей школы технологий искусственного интеллекта в профессиональной деятельности // Высшее образование в России. 2023. Т. 32. № 10. С. 9–33. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-10-9-33.
7. Бурина Е.В. Принципы обучения иностранному языку в процессе применения технологий искусственного интеллекта // Мир науки, культуры, образования. 2024. № 5 (108). С. 104–106. DOI: 10.24412/1991-5497-2024-5108-104-106.
8. Евстигнеев М.Н. Принципы обучения иностранному языку на основе технологий искусственного интеллекта // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2024. Т. 29. № 2. С. 309–323. DOI: 10.20310/1810-0201-2024-29-2-309-323.
9. Титова С.В., Темурян К.Т. Интеллектуальная система обучения иностранным языкам: типы, структура, принципы проектирования // Иностранные языки в школе. 2024. № 3. С. 25–32.
10. Костюкович Е.Ю. Применение искусственного интеллекта в обучении английскому языку в вузе // Современное педагогическое образование. 2023. № 1. С. 492–496.
11. Сысоев П.В. Принципы обучения иностранному языку на основе технологий искусственного интеллекта // Иностранные языки в школе. 2024. № 3. С. 8–19.
12. Кузнецова Н.В. Искусственный интеллект как перспективный способ трансляции знаний в высшей школе: достоинства и недостатки // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 12. С. 161–168. DOI: 10.17513/snt.40258.
13. Лобеева П.И. Методическая модель обучения фразовым глаголам английского языка с использованием чат-ботов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2024. Т. 29. № 5. С. 1275–1289. DOI: 10.20310/1810-0201-2024-29-5-1275-1289.
14. Кравцова А.Г. Chatgpt-3: перспективы использования в обучении иностранному языку // Мир науки, культуры, образования. 2023. № 3 (100). С. 33–35. DOI: 10.24412/1991-5497-2023-3100-33-35.
15. Кизрина Н.Г., Левина Е.А., Вишленкова С.Г. Формирование предметной цифровой компетенции будущего учителя иностранных языков // Перспективы науки и образования. 2022. № 2 (56). С. 183–199. DOI: 10.32744/pse.2022.2.11.

УДК 37.01:377
DOI 10.17513/snt.40405

СТРУКТУРА И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ИТ-НАВЫКОВ ПОДРОСТКОВ В ОНЛАЙН-ШКОЛЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Галимуллин Н.Р.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань,
e-mail: niaz-galimullin@mail.ru

Актуальность исследования обусловлена интенсивным развитием онлайн-школ программирования как сектора дополнительного образования и необходимостью научного обобщения форм, методов, педагогических закономерностей и результатов обучения. Цель исследования заключается в идентификации структуры и содержания понятия «ИТ-навыки подростков», формируемых в онлайн-школе программирования как секторе дополнительного образования детей. Выявлены педагогические особенности онлайн-школ программирования для детей: индивидуализация развития в ИТ-сфере с учетом образовательных потребностей и возможностей ребенка; высокий потенциал инженерно-технического творчества; ориентация на формирование у детей универсальных навыков (таких как коммуникабельность, умение работать в команде, самоорганизация), способных обусловить в дальнейшем социальную адаптацию. Проанализировано понятие «навыки» в контексте компетентного подхода, представляющего собой динамическую характеристику, развиваемую с опытом профессиональной деятельности в компетентность и профессиональное мастерство. Представлена авторская трактовка понятия «ИТ-навыки подростков» как способность применения знаний и умений в области информационных технологий для решения практических задач; раскрыта его структура через дифференциацию прикладных и универсальных навыков. Формирование ИТ-навыков осуществляется в онлайн-формате при организации цифровой образовательной среды и педагогическом сопровождении. Положительная динамика развития ИТ-навыков в процессе обучения подростков позволила доказать, что традиционная педагогическая триада «знание – умение – навыки» в ИТ-сфере может получить развитие через ориентацию на трудовые функции, где «навык» обобщается в категорию сформулированных востребованных профессионально-личностных характеристик.

Ключевые слова: дополнительное образование детей, онлайн-школы программирования, ИТ-навыки подростков

STRUCTURE AND CRITERIA FOR ASSESSING TEENAGERS' IT SKILLS AT THE ONLINE PROGRAMMING SCHOOL

Galimullin N.R.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, e-mail: niaz-galimullin@mail.ru

The relevance of the research is related to the intensive development of online programming schools as a sector of additional education and the need for scientific generalization of forms, methods, pedagogical patterns and learning outcomes. The purpose of the study is to identify the structure and content of the concept of «IT skills of adolescents», formed in the online programming school as a sector of additional education for children. The pedagogical features of online programming schools for children have been identified: individualization of development in the IT field, taking into account its educational needs and capabilities; high potential for engineering and technical creativity; orientation towards the formation of universal skills in children (sociability, teamwork, self-organization) that can lead to further social adaptation. The presentation of the concept of «skills» in the context of the competence approach, which is a dynamic characteristic developed with the experience of professional activity into competence and professional skills, is analyzed. The author's interpretation of the concept of «IT skills of teenagers» is presented, the ability to apply knowledge and skills in the field of information technology to solve practical problems; its structure is revealed through the differentiation of applied and universal skills. The formation of IT skills is carried out in an online format with the organization of a digital educational environment and pedagogical support. The positive dynamics of the development of IT skills in the process of teaching adolescents has made it possible to prove that the traditional pedagogical triad «knowledge – skill – skills» in the IT field can be developed through orientation to work functions, where «skill» is generalized into the category of formulated demanded professional and personal characteristics.

Keywords: additional education for children, online programming schools, IT skills of teenagers

Введение

Отрасль ИТ – наиболее быстро развивающаяся из всех существующих, а значит, ее специалисты должны непрерывно самообразовываться, обновлять и совершенствовать свои характеристики – «skills», чтобы оставаться востребованными на рынке труда. А следовательно, базовые профессиональные знания и навыки ИТ-специалистов

должны быть устойчивыми, надежными и способными к росту.

К настоящему времени уже естественной «средой» обучения стали «... ИТ-технологии, ресурсы Интернета, новые организационно-педагогические технологии, дополненная реальность, виртуальные миры... Тем не менее, Интернет и ИТ-технологии не являются принципиально

новыми моделями хранения и передачи информации, они лишь служат целям мультипликации этих процессов» [1]. Одним из таких образовательных форматов является сектор онлайн-школ программирования, способствующих дополнительному образованию детей. Особенности такого формата образования выступают: ориентация на развитие инженерно-технического творчества и STEM-образование; комфортная среда, доступность и адаптивность обучения; цифровая социализация; вовлечение родителей в образовательный процесс; развитие самоорганизации обучающихся [2].

Онлайн-школы программирования для детей нацелены на развитие детей и подростков в сфере цифровой индустрии и их раннюю профессионализацию в сфере IT, в том числе и на решение профориентационных задач [3]. Здесь прививается представление о том, как из пользователя цифровой индустрии превратится в ее проектировщика – обучающиеся осваивают навыки разработчиков анимации и компьютерных игр (разного уровня сложности), создания сайтов, 3D-моделей и собственных коммерциализированных стартапов, приобретая необходимые IT-навыки, цифровую грамотность, цифровую этику и общие компетенции (коммуникативные, командные, лидерские и пр.).

Цель исследования заключается в идентификации структуры и содержания понятия «IT-навыки подростков» в онлайн-школе программирования как секторе дополнительного образования детей.

Материалы и методы исследования

В педагогических исследованиях novoобразование «IT-навыки подростков» рассматривается впервые, как и формат онлайн-школ программирования в качестве сектора дополнительного образования детей. Педагогический эксперимент по идентификации и формированию IT-навыков подростков проводился в онлайн-школе программирования «Impact A&C». Всего в исследование были включены 114 человек (подростки 12–15 лет). Данный возраст выбран потому, что ему соответствуют основные группы обучающихся: после 15 лет в школе остаются именно те ребята, которые впоследствии планируют связать свою профессиональную деятельность с IT-сферой; их обучение и соответственно навыки приобретают предпрофессиональную направленность. Результаты педагогического эксперимента, проводимого в течение 2 лет (2023/2024 и 2024/2025 учебные годы) в онлайн-школе программирования, выявили устойчивый рост в формировании IT-навыков.

Методы исследования: системный анализ служит для выявления сущности и структуры IT-навыков подростков, педагогическое проектирование необходимо для разработки содержания обучения по формированию IT-навыков, педагогическое тестирование и экспертное оценивание обеспечивают оценку динамики сформированности IT-навыков подростков до и после педагогического эксперимента.

Результаты исследования и их обсуждение

Основой исследования послужили:

- базовые принципы организации дополнительного образования детей с ориентацией на будущую профессиональную деятельность [4, 5];

- педагогические закономерности в IT-ориентированных направлениях обучения детей и подростков алгоритмизации, программированию и робототехнике в контексте формирования предпрофессиональных и личностных характеристик в условиях формального и неформального образования [6–8];

- особенности формирования отдельных характеристик подростков в ходе обучения в IT-сфере [9–11].

Отметим несколько концептуальных положений, служащих теоретическим базисом исследования:

- 1) изучение информатики (здесь она охватывает блоки: информационные процессы и технологии; моделирование и формализация; алгоритмизация; программирование; визуализация; робототехника и др.) возможно в непрерывном образовании начиная с младшего школьного возраста с интеграцией урочного, внеурочного и дополнительного образования;

- 2) результативность обучения подростков 12–15 лет в IT-сфере распространяется не только на знания и навыки, но и на их личностные характеристики, в совокупности они образуют профессионально значимые качества;

- 3) структуру профессионально значимых качеств образуют компоненты, связанные с запросами к компетенциям IT-специалистов (по анализу стандартов профессионального и высшего образования, требований работодателей): виды мышления (алгоритмическое, математическое, аналитическое, логическое); проектная культура; способности к инженерному творчеству; а также универсальные учебные действия.

Существует два ракурса рассмотрения «навыков», которые сложились сейчас в педагогической науке и практике [12, с. 14]:

- 1) с позиций традиционной педагогической триады «знание – умение – навык»,

где *навык* предстает как отработанное, доведенное до автоматизма действие, не требующее обдумывания и способствующее дальнейшему обучению [13];

2) с позиций компетентного подхода, где *навык* соотносится с профессиональными или предпрофессиональными действиями, востребованными в профессии для решения конкретных задач. Здесь «навык» идентифицируется с понятием «skill» и формулируется исходя из требований рынка труда. Соответственно, компетентность образуется исходя из опыта применения навыков в разнообразных ситуациях [14].

При дополнении понятия «навык» динамическими характеристиками [15] и ориентации на идеи когнитивной педагогики [16], ставящей во главу угла личностные процессы познания обучающихся, формирование навыка представляется фиксированной точкой итерационной процедуры, когда «знание» через «умение» разрешается в «навык» и становится личностной характеристикой, что обеспечивает новый познавательный цикл, начинающийся с освоения новых знаний и их дальнейшего приращения.

Соответственно, можно говорить и о градации навыков – *элементарных* (автоматизация элементарных действий – двигательные, мыслительные, сенсорные, поведенческие навыки), *базовых* (связанных с универсальными действиями и грамотностью в разнообразных сферах) и *производственных* (связанных с профессиональной деятельностью). Именно в контексте «производственных навыков» употребляется понятие «skills» (hard-, soft- и self-skills), которое в отечественной литературе часто подменяется понятием «компетентность».

Констатируем, что «навык» представляет собой сформированную личностную характеристику, «динамический стереотип», закрепленный опыт автоматического и правильного выполнения определенных действий с достижением поставленной цели. В свою очередь, совокупность навыков через опыт их применения в различных ситуациях формирует компетентность как способность и готовность к какой-либо деятельности, то есть навык отличается от компетентности уровнем и ситуативной сложностью применения знаний. Трансформации навыков в компетентность способствуют так называемые soft- и self-skills. С позиции оценки результативности обучения навыки представляют собой базис для наращивания опыта действий в предметной и личностной сфере через успешно освоенные методы и стратегии решения поставленных задач.

В этом контексте формулируем понятие *IT-навыков подростков* как приобретаемые в ходе дополнительного образования способности к применению знаний и умений в области информационных технологий для решения практических задач, связанных с созданием, настройкой различных цифровых систем и сервисов, их управлением, включая программное обеспечение, а также проектированием собственных программных продуктов.

Спектр IT-навыков содержит следующее.

1. *Прикладные навыки* – навыки, приобретаемые в опыте учебной и квазипрофессиональной деятельности, связанные со способами решения технических задач с использованием информационных технологий, способами и стандартами выполнения IT-задач.

1.1. Навыки алгоритмизации подразумевают владение способами формализации задач разного рода и составления последовательного плана достижения результата решения задачи.

1.2. Навыки кодирования предполагают знание основ различных языков программирования и умения по созданию программного кода для поставленной задачи.

1.3. Навыки визуализации предполагают владение способами группировки и представления данных в виде, пригодном для анализа.

1.4. Навыки тестирования подразумевают владение способами контроля качества работы программного обеспечения.

1.5. Навыки администрирования предполагают владение принципами организации операционных систем и способами их настройки.

2. *Универсальные навыки* – гибкие навыки, приобретаемые в опыте учебной и квазипрофессиональной деятельности, связанные с успешными стратегиями достижения учебных целей, учебным взаимодействием и самоорганизацией.

2.1. Аналитические навыки – владение способами обработки информации, ее формализацией и организацией.

2.2. Вычислительные навыки – владение информационными технологиями и техническими средствами как способами решения широкого спектра задач.

2.3. Коммуникативные навыки – личность обладает способностями к продуктивному взаимодействию с другими людьми в ходе решения поставленных задач.

2.4. Навыки командной работы – человек владеет продуктивными способами управления и сотрудничества для решения общих задач.

2.5. Навыки самоорганизации – владение способами организации собственного

времени и собственной деятельности для достижения поставленной цели.

Каждый из ИТ-навыков (прикладных и универсальных) оценивается согласно следующим критериям: когнитивный (знания, понятий, алгоритмов и способов их применения); операционно-технологический (решение типовых задач); проективный (создание собственных программных продуктов); самообучаемость (самостоятельность в обучении) – и может быть проявлен на одном из уровней: базовом, среднем, продвинутом.

Формирование ИТ-навыков осуществляется по дополнительным общеразвивающим программам, описывающим образовательные треки онлайн-школы программирования. Каждый трек состоит из образовательных модулей и рассчитан на один учебный год. Для обучения используются следующие формы: онлайн-занятия с разъяснением материала и практическими заданиями; самостоятельная работа обучающихся, выполняемая во внеучебное время при возможности индивидуального онлайн-консультирования; индивидуальные занятия для корректировки образовательных достижений; групповая и индивидуальная проектная деятельность, хакатоны, подготовка к городским и региональным олимпиадам и конкурсам.

В ходе исследования проведена оценка динамики формирования ИТ-навыков подростков (12–15 лет) посредством тестирования по теоретическому материалу, проверки домашних заданий и путем экспертного оценивания индивидуальных и групповых проектов. В качестве экспертов привлекаются преподаватели онлайн-школы. На каждого обучающегося создается карта ИТ-навыков, где отмечается личный прогресс по каждому из них согласно критериальной оценке и уровню.

Результаты педагогического эксперимента, проводимого в течение 2 лет (2023–2025 гг.) в онлайн-школе программирования, выявили устойчивый рост в формировании ИТ-навыков у обучающихся экспериментальной группы. По усредненным показателям в течение рассматриваемого времени были отмечены: прогресс – от 3,5% сформированных ИТ-навыков у обучающихся на продвинутом уровне до 58,8%; от 22,8% сформированных ИТ-навыков у обучающихся на среднем уровне до 36,8%; и закономерный регресс – снижение от 73,7% ИТ-навыков на базовом уровне до 4,4%. Следовательно, подавляющее большинство обучающихся – 95% – овладели ИТ-навыками на среднем и продвинутом уровне в период обучения.

Резюмируя результаты процесса идентификации сущности, структуры и содержания ИТ-навыков подростков, отметим, что:

- во-первых, традиционная педагогическая триада ЗУН может получить развитие в дополнительном образовании подростков через ориентацию на трудовые функции в ИТ-сфере, где «навык» обобщается в категорию сформулированных востребованных профессионально-личностных характеристик (skill);

- во-вторых, структура ИТ-навыков включает прикладные и универсальные навыки, что предполагает их широкое распространение и вне ИТ-сферы, способствует общему развитию подростка и его ориентации на инженерно-техническое мышление в целом;

- в-третьих, формирование ИТ-навыков подростков в дополнительном образовании представляется как процесс самостоятельного прохождения обучающимся пути познания и преобразования, следовательно, должны быть созданы соответствующие педагогические средства, формы, методы и обеспечена педагогическая поддержка этого процесса.

Заключение

Образовательные программы онлайн-школы программирования правомерно отнести к предпрофессиональным (как это происходит с дополнительным образованием детей в сфере искусств и физической культуры), поскольку их деятельность предполагает формирование многих предпрофессиональных характеристик в ИТ-сфере. Такой ракурс позволяет рассмотреть понятие «навык» в призматическом подходе, где формирующиеся навыки в рамках какой-либо специализации коррелируют с трудовыми функциями.

Можно констатировать, что обучение в ИТ-сфере в рамках дополнительного образования детей может быть нацелено на формирование профессионально значимых качеств личности при проектировании научно и методически обоснованного содержания обучения, определении модели и организационно-педагогических условий их формирования. Особый педагогический формат онлайн-школы программирования, где обучающиеся могут заниматься по различным образовательным траекториям, осваивая ИТ-сферу, предполагает: педагогическую организацию длительного обучения; разработку педагогического обеспечения процесса, проектирование цифровой образовательной среды и непрерывное педагогическое сопровождение образовательных процессов.

Список литературы

1. Окладникова Е.А. Образование к 2030 и 2035 гг.: форсайт-технологии и телеология рисков и благоприобретений // Научный результат. Социальные и гуманитарные исследования. 2020. № 7 (3). С. 125–149. DOI: 10.18413/2408-932X-2021-7-3-0-12.
2. Левина Е.Ю., Галимуллин Н.Р. Особенности онлайн-школ программирования в дополнительном образовании детей и подростков // Педагогический журнал. 2023. Т. 13. № 7А. С. 168–175. DOI: 10.34670/AR.2023.22.67.032.
3. Муравьева Е.В., Князькина Е.А., Моисеев Р.Е. Система проектирования совместной профориентационной деятельности технического университета и общеобразовательных учреждений // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30255> (дата обращения: 23.03.2025). DOI: 10.17513/spno.30255.
4. Голованов В.П. Воспитательная составляющая социализации в системе дополнительного образования детей // Социально-политические исследования. 2022. № 1 (14). С. 81–94. DOI: 10.20323/2658-428X-2022-1-14-81-94.
5. Золотарева А.В. Методологические основы построения системы дополнительного образования детей в России // Журнал БГУ. Социология. 2023. № 4. С. 67–74. URL: <https://journals.bsu.by/index.php/sociology/article/view/5714> (дата обращения: 23.03.2025).
6. Бешенков С.А., Шутикова М.И., Лабутин В.Б., Филиппов В.И. Использование визуального программирования и виртуальной среды при изучении элементов робототехники на уроках технологии и информатики // Информатика и образование. 2018. № 5 (294). С. 20–22. URL: <https://info.infojournal.ru/jour/article/view/300> (дата обращения: 25.03.2025).
7. Босова Л.Л. Современные тенденции развития школьной информатики в России и за рубежом // Информатика и образование. 2019. № 1. С. 22–32. DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-1-22-32.
8. Самылкина Н.Н. Образовательная робототехника – от модного тренда до педагогической технологии. Что дальше? // Информатика в школе. 2018. № 6 (139). С. 52–55. URL: <https://school.infojournal.ru/jour/article/view/266>.
9. Шапиро К.В., Макарова Н.В. Персонализация образовательного маршрута обучающегося в многомерном пространстве школьной информатики // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. Секция: Науки об образовании. 2024. № 2. С. 44–62. DOI: 10.35231/18186653_2024_2_44.
10. Самылкина, Н.Н. Структура и содержание цифровых компетенций, формируемых в предпрофессиональном обучении // Информатика в школе. 2020. № 4. С. 11–19. DOI: 10.32517/2221-1993-2020-19-4-11-19.
11. Тарапата В.В. Робототехнические проекты в школьном курсе информатики // Информатика в школе. 2019. № 5. С. 52–56. DOI: 10.32517/2221-1993-2019-18-5-52-56.
12. Сорокин П.С., Мальцева В.А., Гасс П.В. Как и зачем измерять профессиональные навыки? М.: НИУ ВШЭ, 2021 64 с. Современная аналитика образования. № 8 (57). URL: <https://ioe.hse.ru/pubs/share/direct/492966381.pdf> (дата обращения: 24.03.2025).
13. Новиков П.Н. Общие подходы к понятию навыка // Актуальные вопросы современной экономики. 2020. № 1. С. 627–636. DOI: 10.34755/IROK.2020.98.66.088.
14. Волошина И.А., Новиков П.Н. Понятие навыка в составе образовательной и профессионально-трудовой терминологии // Социально-трудовые исследования. 2020. № 3. С. 68–80. DOI: 10.34022/2658-3712-2020-40-3-68-80.
15. Камалеева А.Р. Технологическое наполнение дидактической цепочки «знания → умения и навыки» с позиции когнитивной дидактики // Педагогический журнал Башкортостана. 2022. № 1 (95). С. 41–52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskoe-napolnenie-didakticheskoy-tsepochki-znaniya-umeniya-i-navyki-s-pozitsii-kognitivnoy-didaktiki> (дата обращения: 23.03.2025).
16. Левина Е.Ю., Камалеева А.Р., Стукалова О.В. Концептуальные основания когнитивной педагогики // Казанский педагогический журнал. 2023. № 1. С. 27–35. DOI: 10.51379/KPJ.2023.158.1.002.

УДК 372.881.1

DOI 10.17513/snt.40406

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБУЧЕНИИ ИСПАНСКОМУ ЯЗЫКУ

Должич Е.А., Дмитриченкова С.В.

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»,
Москва, e-mail: korte@mail.ru

В последние годы технологии искусственного интеллекта и машинного обучения стали неотъемлемой частью современного образования и процесса изучения иностранного языка. Цель настоящей статьи – определить основные функции искусственного интеллекта в процессе преподавания иностранного языка в вузе на основе обзора актуальных отечественных и зарубежных публикаций, а также проанализировать потенциал имплементируемых инструментов искусственного интеллекта в методике преподавания испанского языка в Инженерной академии РУДН. В качестве методов исследования были использованы анализ и систематизация инструментов искусственного интеллекта, применяемых в образовательной деятельности зарубежных вузов и вузов России в соответствии с протоколом Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). В результате поиска в структуре списка публикаций была сформирована первичная база из 50 статей, отвечающих искомым характеристикам, за 2020–2024 гг., из них отобраны 25 публикаций с наибольшим количеством цитирований. В статье выделяются основные функции инструментов искусственного интеллекта в изучении иностранного языка и отмечаются преимущества и недостатки их использования. В ходе исследования особое внимание уделено практическому внедрению инструментов с искусственным интеллектом на занятиях по испанскому языку на кафедре иностранных языков Инженерной академии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, испанский язык, современные технологии, машинное обучение

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN TEACHING SPANISH LANGUAGE

Dolzich E.A., Dmitrichenkova S.V.

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,
Moscow, e-mail: korte@mail.ru

In recent years, artificial intelligence and machine learning technologies have become an integral part of modern education and foreign language learning process. The purpose of this article is to identify the main functions of artificial intelligence in the process of teaching a foreign language at universities based on a review of current national and foreign publications, as well as to analyze the potential of the implemented artificial intelligence tools in the methodology of teaching Spanish at the Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia. The research methods used were analysis and systematization of artificial intelligence tools applied in educational activities of foreign universities and universities of Russia according to the protocol Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). As a result of the search in the structure of the list of publications, a primary database was formed from 50 articles that met the required characteristics in the period between 2020 to 2024, of which 25 with the highest number of citations were selected. The article highlights the main functions of artificial intelligence tools in foreign language learning and points out the main advantages and disadvantages of their use. The study focused on the practical implementation of artificial intelligence tools in Spanish classes at the Department of Foreign Languages of the Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba.

Keywords: artificial intelligence, Spanish language, modern technologies, machine learning

Введение

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) все больше внедряются в различные сферы современной жизни. ИИ используется в медицине и здравоохранении, в сфере безопасности, в промышленности и бизнесе, в электронной коммерции и игровой индустрии, а также в образовании, где ИИ призван обеспечить персонализированное обучение, интерактивные обучающие материалы и отслеживание прогресса студентов. Фактически ИИ уже изменил многие аспекты жизни, и одна из областей, в которой

проявляются его преобразующие возможности, это изучение языков.

В 2024 г. был издан Указ Президента РФ, актуализирующий Национальную стратегию развития искусственного интеллекта на период до 2030 г., изложенную в Указе Президента РФ № 490 от 2019 г. «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» [1]. Данный документ является основным концептуальным проектом, определяющим направления государственной политики в сфере ИИ и направленным на реализацию стратегических

национальных приоритетов в области научно-технологического развития. В ходе проведения международной конференции по искусственному интеллекту «Путешествие в мир искусственного интеллекта» в декабре 2024 г., объединившей на одной площадке признанных международных экспертов в сфере ИИ, президент Российской Федерации В.В. Путин высоко оценил технологии генеративного искусственного интеллекта и отметил их практическую пользу для образования.

По словам президента, применение ИИ в образовательном процессе позволяет преподавателям экономить до 20% рабочего времени. Президент России также заявил, что с помощью современных методов обучения и искусственного интеллекта можно решать задачу обеспечения равного доступа к возможностям образования [2].

В декабре 2024 г. президент поручил Правительству Российской Федерации представить предложения по расширению использования технологий искусственного интеллекта для дополнительного обучения и консультирования по общеобразовательным предметам с учетом федеральных государственных образовательных стандартов [3].

В 2025 г. на базе Инновационного центра «Сколково» будет создано подразделение по координации науки в сфере ИИ для выполнения правительственных задач по «координации деятельности исследовательских центров в сфере ИИ, разработке программ подготовки ученых и формирование стандартов использования ИИ в научных исследованиях [4]. Такие события свидетельствуют о глубоком проникновении технологий искусственного интеллекта в сферу образования, способном коренным образом изменить традиционные методы обучения. Возможности искусственного интеллекта совершенствуют образовательные процессы и побуждают к переосмыслению подходов к обучению.

Традиционные методы преподавания и изучения иностранных языков развиваются, применяя инновационный подход с использованием возможностей информационных технологий и искусственного интеллекта. Это не означает, что искусственный интеллект должен заменить весь процесс преподавания; речь идет о его внедрении для улучшения и дополнения традиционных форм и методов обучения.

Актуальность темы настоящего исследования обусловлена как интеграцией решений на основе искусственного интеллекта в процесс образования, так и особым вниманием Правительства Российской

Федерации к расширению использования технологий искусственного интеллекта для развития науки и обучения.

Цель исследования – выявление основных функций искусственного интеллекта в процессе преподавания иностранного языка в вузе на основе обзора актуальных отечественных и зарубежных публикаций, а также анализ инструментов искусственного интеллекта, используемых в методике преподавания испанского языка в Инженерной академии РУДН.

Объектом исследования являются инструменты на базе искусственного интеллекта, способствующие интенсификации процесса обучения иностранным языкам.

В качестве предмета исследования выступает роль искусственного интеллекта в модернизации образовательного пространства.

Гипотеза настоящего исследования состоит в том, что имплементация инструментов с искусственным интеллектом способствует совершенствованию иноязычной подготовки обучающихся испанскому языку в Инженерной академии РУДН.

Материалы и методы исследования

В качестве методов исследования были использованы анализ и систематизация инструментов с искусственным интеллектом, применяемых в образовательной деятельности зарубежных вузов и вузов России в соответствии с протоколом Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) [5], определяющим современные принципы подготовки обзоров. В результате поиска в базах данных Scimedirect и РИНЦ была сформирована первичная база из 52 статей, отвечающих искомым характеристикам, за период 2020–2024 гг., из них отобраны 24 публикации с наибольшим количеством цитирований.

Результаты исследования и их обсуждение

По мере роста интереса к изучению иностранных языков растет и потребность в персонализированных подходах к обучению. Алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения совершают революцию в преподавании языков, предлагая индивидуальный подход. Технологии ИИ улучшают образовательный процесс, анализируя данные студентов и адаптируя содержание учебных программ под уровень каждого. ИИ прогнозирует возникновение проблемы с усвоением материала и заблаговременно корректирует образовательный маршрут [6, 7].

Исследования показывают, что искусственный интеллект способствует более

адаптивному обучению с индивидуальной учебной траекторией. Такой персонализированный подход имеет решающее значение для преодоления барьера в изучении языка, позволяя студентам прогрессировать, следуя своему ритму обучения [8, 9].

Незаменимыми представляются технологии с применением ИИ в инклюзивном образовании, поскольку позволяют учитывать особенные потребности студентов и максимально персонализировать обучение [10–12].

В рамках так называемых «основных четырех языковых навыков» (говорение, чтение, аудирование и письмо) искусственный интеллект продолжает трансформировать способы обучения, предлагая студентам более персонализированный, интерактивный и эффективный опыт обучения. Исследователи Дизон и Танг [13] доказывают эффективность осуществления практики разговорной речи с помощью виртуального голосового помощника Алекса; ученые Казу, Кувветли и Сан [14, 15] исследуют преимущества инструментов автоматического распознавания речи для улучшения беглости речи и произношения; исследователь Наби Назари и др. [16, 17] описывают в своем исследовании цифровые инструменты проверки грамматики на базе искусственного интеллекта; Кинг и Торп обсуждают проблемы плагиата, этики и авторства в работах, созданных посредством ИИ [18, 19].

С помощью технологии обработки естественного языка (NLP), сочетающей в себе компьютерную лингвистику и машинное обучение, оценивается уровень знаний студентов и соответствующим образом адаптируются уроки. Данная система использует чат-ботов и виртуальных репетиторов для предоставления информации в режиме реального времени, моделируя иммерсивную языковую среду и обучая студентов разговорной речи. Таким образом, ИИ снабжает студентов динамичными, мотивирующими и эффективными инструментами, ускоряя их путь к лингвистической компетентности [20].

Немедленная обратная связь имеет решающее значение для изучения языка, поскольку позволяет студентам выявлять и исправлять ошибки в режиме реального времени, тем самым закрепляя их понимание и правильное использование языка [21].

Применение технологии ИИ оптимизирует деятельность преподавателя и экономит его рабочее время. Образовательные платформы с технологиями ИИ эффективно выполняют задачи автоматизации шаблонных конструкций, что высвобождает время преподавателя для создания творческих

проектов. Технология контроля прокторинг успешно отслеживает соблюдение правил во время проведения дистанционного экзамена: проктор – искусственный интеллект – контролирует поведение студентов, предварительно распознав их личность [22, 23].

Таким образом, были определены следующие основные функции ИИ в процессе изучения иностранного языка:

- составление персонализированного образовательного маршрута;
- интерактивный опыт обучения;
- помощь в инклюзивном образовании;
- практика аудирования и разговорной речи;
- проверка орфографии и грамматики;
- автоматизированная оценка и немедленная обратная связь;
- автоматизация шаблонных конструкций;
- осуществление контроля в дистанционном обучении.

Основываясь на результатах исследований по имплементации инструментов искусственного интеллекта в процесс изучения иностранного языка, были выявлены следующие преимущества их использования:

1. ИИ позволяет создавать симуляции реальных разговоров и ситуаций, которые дают студентам возможность практиковать язык в безопасной и контролируемой среде.

2. ИИ может адаптироваться к индивидуальным потребностям студентов, предлагая персонализированные материалы и занятия в зависимости от их уровня знаний и стиля обучения.

3. Системы искусственного интеллекта могут обеспечивать немедленную обратную связь по грамматике, произношению и словарному запасу, позволяя студентам быстро исправлять ошибки и улучшать беглость речи.

4. Виртуальные репетиторы взаимодействуют со студентами, отвечая на вопросы и предлагая эмоциональную поддержку в процессе обучения.

5. Технологии распознавания речи и машинного перевода позволяют студентам практиковать понимание на слух, а также получать доступ к контенту на разных языках.

6. Алгоритмы искусственного интеллекта могут автоматически генерировать учебные материалы, упражнения и тесты, помогая преподавателям более эффективно создавать высококачественные ресурсы.

К спорным вопросам по применению ИИ на занятиях исследователи относят:

- конфиденциальность и безопасность данных;
- зависимость от технологий;
- прозрачность и отслеживаемость данных, проблемы этики;

– цифровая компетентность как студентов, так и преподавателей;

– доступ к технологической инфраструктуре и к образовательным ресурсам.

С целью повышения эффективности усвоения и автоматизации языковых средств испанского языка на кафедре иностранных языков Инженерной академии РУДН используются цифровые инструменты с искусственным интеллектом.

1. Чат-боты взаимодействуют с изучающими иностранный язык через приложения для обмена сообщениями, веб-сайты и мобильные приложения. В настоящее время наиболее известен ChatGPT [24, 25]. По результатам опроса студентов Инженерной академии, поисковая система и чат-бот Perplexity обеспечивает более высокую точность в предоставлении фактических данных, служит для автоматизации языковых навыков в режиме реального времени и повышает внешнюю мотивацию.

Приложения Duolingo, LinguaBot эффективны на ранних этапах изучения испанского языка (A1–A2): способствуют развитию разговорных навыков, восприятию испанской речи на слух и формируют фонетические навыки на основании имитативного принципа.

2. В создании сервиса машинного перевода (Google Translate) и распознавания устной речи используются передовые технологии нейронных сетей, обеспечивающие достаточно высокую точность перевода. Безусловно, машинный перевод не в состоянии заменить профессионального переводчика, в частности, в выполнении литературных переводов, требующих глубокого понимания культурного контекста, но современный машинный перевод работает чрезвычайно быстро, открывая новые возможности в обработке больших объемов информации. Данным сервисом студенты инженерных специальностей пользуются для анализа массива публикаций на испанском языке в научно-технической периодике. Машинный перевод используется в ходе проектной деятельности на этапе сбора и анализа информации.

3. Нейросети для создания изображений и генераторы видео

Иллюстрации на занятиях иностранного языка конкретизируют абстрактные понятия, способствуют долгосрочному запоминанию и творческому взаимодействию. Искусственный интеллект облегчает создание необходимых изображений с помощью определенных параметров. При работе с генератором изображений на базе искусственного интеллекта Dream by WOMBO студен-

ты испанского языка задают нейросети подробное описание иллюстрации, выбирают один из доступных стилей изображения и приступают к генерации.

Генератор видео Synthesia располагает большим набором аватаров с искусственным интеллектом и преобразует письменный текст на испанском языке в естественно звучащий разговор, что позволяет создавать персонализированные видеоролики на заданные темы. Благодаря таким заданиям и системно-деятельностному подходу в целом студенты выступают активными и мотивированными участниками учебного процесса.

4. Презентация служит мощной визуальной поддержкой во время введения и обобщения нового материала, формирования лингвокультурологической и коммуникативной компетенций студентов. Приложение искусственного интеллекта Beautiful.AI стимулирует процесс обучения испанскому языку путем визуализации контента. Видеоряд способствует концентрации внимания, развитию ассоциативного мышления и структурирует процесс запоминания.

5. Обучение иностранным языкам в РУДН, в том числе испанскому, успешно дополняется тренировкой коммуникативных навыков в виртуальной среде на платформе VR Supersonic [26]. В рамках сотрудничества РУДН с компанией VR Supersonic при непосредственном участии преподавателей иностранных языков созданы тренировочные модули и сценарии для интерактивных ролевых симуляций в виртуальной среде. Студенты погружаются в виртуальную среду, фокусируются на тренировке и совершенствуют навыки общения на иностранном языке, получая мгновенную обратную связь и формируя корректную модель поведения в интерактивных ролевых симуляциях.

В процессе адаптивного обучения корректируется уровень сложности заданий, что развивает когнитивные способности, связанные с речевосприятием, памятью и вниманием. Технологии виртуальной реальности внедряются на занятиях по профессионально ориентированному обучению иностранным языкам студентов Инженерной академии.

Как показывает практика, изучение иностранного языка в виртуальной реальности повышает уровень иноязычной подготовки студентов: способствует формированию профессиональных компетенций, эффективно дополняет традиционное обучение в безопасной среде и стимулирует мотивацию студентов.

Заключение

Использование ИИ в образовании является катализатором развития и эволюции педагогики и дидактики. Уже сегодня ИИ меняет не только методы преподавания и практику обучения, но и предъявляет особые требования к подготовке преподавателей и студентов для эффективного ориентирования в условиях информатизации обучения и управления знаниями.

Результаты проанализированных исследований показали, что ИИ представляет собой инструмент с беспрецедентным потенциалом для персонализации обучения иностранному языку и развития таких когнитивных способностей, как восприятие, память, рассуждение, воображение и внимание, формирование коммуникативной компетенции.

В ходе обзора современных публикаций были определены следующие функции ИИ в процессе изучения иностранного языка: составление персонализированного образовательного маршрута; обеспечение интерактивного обучения; помощь в инклюзивном образовании; практика аудирования и разговорной речи; проверка орфографии и грамматики; автоматизированная оценка и немедленная обратная связь; автоматизация шаблонных конструкций; осуществление контроля в дистанционном обучении.

Несмотря на значительные преимущества, которые ИИ может внести в образование, преподавателю следует строго отслеживать и регулировать процесс использования технологий ИИ студентами, ориентируясь на приобретение конкретных компетенций, которые укрепляются и расширяются за счет уникальных возможностей ИИ. Несомненно, искусственный интеллект не в состоянии заменить преподавателя. Чувство эмпатии, креативность преподавателя и гуманистический подход в межличностном общении делают его незаменимым в процессе обучения и воспитания.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 15.02.2024 г. № 124 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50326/page/1> (дата обращения: 20.02.2025).
2. Конференция «Путешествие в мир искусственного интеллекта». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.en.kremlin.ru/events/president/news/75830> (дата обращения: 20.02.2025).
3. Перечень поручений по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта» от 30.12.2024. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/76076> (дата обращения: 20.02.2025).
4. «Сколково» будет координировать развитие ИИ в России. Электронный ресурс. URL: <https://sk.ru/news/skolko-vo-budet-koordinirovat-razvitie-ii-v-rossii/> (дата обращения: 20.02.2025).
5. Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA). 2020. Электронный ресурс. URL: <https://www.prisma-statement.org/> (дата обращения: 19.03.2025).
6. Romero-Rodríguez J.M., Ramírez-Montoya M.S., Buenestado-Fernández M., Lara-Lara F. Use of ChatGPT at University as a Tool for Complex Thinking: Students' Perceived Usefulness // *Journal of New Approaches in Educational Research*. 2023. Vol. 12, Is. 2. P. 323–339. URL: <https://link.springer.com/article/10.7821/naer.2023.7.1458> (дата обращения: 23.02.2025). DOI: 10.7821/naer.2023.7.1458.
7. Bhutoria A. Personalized education and Artificial Intelligence in the United States, China, and India: A systematic review using a Human-In-The-Loop model // *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2022. Vol. 3. P. 12–27. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X22000236?via%3Dihub> (дата обращения: 12.02.2025). DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100068.
8. Jiao P., Ouyang F., Zhang Q., Alavi A. Artificial intelligence-enabled prediction model of student academic performance in online engineering education // *Artificial Intelligence Review*. 2022. Vol. 55, Is. 8. P. 6321–6344. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-022-10155-y> (дата обращения: 12.03.2025). DOI: 10.1007/s10462-022-10155-y.
9. Maher Joe Khan O.J. Personalized learning through AI // *Advances in Engineering Innovation*. 2023. 5. P. 16–19. URL: <https://www.ewadirect.com/journal/aei/article/view/9468> (дата обращения: 13.03.2025). DOI: 10.54254/2977-3903/5/2023039.
10. Проценко Е.А., Смолина Л.В. Возможности использования технологий искусственного интеллекта для обучения иноязычной профессиональной коммуникации // *Современные наукоемкие технологии*. 2024. № 5 (ч. 2). С. 376–380. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40055> (дата обращения: 27.02.2025). DOI: 10.17513/snt.40055.
11. Akyuz Yasar. Effects of Intelligent Tutoring Systems (ITS) on Personalized Learning (PL) // *Creative Education*. 2020. Vol. 11, Is. 6. P. 55–61. URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=101287> (дата обращения: 05.03.2025). DOI: 10.4236/ce.2020.116069.
12. Maghsudi A.S., Lan J., Xu M., van der Schaar. Personalized Education in the Artificial Intelligence Era: What to Expect Next // *IEEE Signal Processing Magazine*. 2021. Vol. 38, Is. 3. P. 37–50. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9418572> (дата обращения: 25.02.2025). DOI: 10.1109/MSP.2021.3055032.
13. Dizon Gilbert, Tang Daniel. Intelligent personal assistants for autonomous second language learning: An investigation of Alexa // *The JALT CALL Journal*. 2020. Vol. 16, Is. 2. P. 107–120. URL: <https://www.castledown.com/journals/jaltcall/article/view/jaltcall.v16n2.273> (дата обращения: 23.02.2025). DOI: 10.29140/jaltcall.v16n2.273.
14. Kazu I.Y., Kuvvetli M. The influence of pronunciation education via artificial intelligence technology on vocabulary acquisition in learning English // *International Journal of Psychology and Educational Studies*. 2023. P. 480–493. Vol. 10, Is. 2. URL: <https://ijpes.com/index.php/ijpes/article/view/1044/500> (дата обращения: 24.02.2025). DOI: 10.52380/ijpes.2023.10.2.1044.
15. Sun W. The impact of automatic speech recognition technology on second language pronunciation and speaking skills of EFL learners: a mixed methods investigation // *Front. Psychol*. 2023. Vol. 14. P. 121–137. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2023.1210187/full> (дата обращения: 24.02.2025). DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1210187.
16. Nazari N., Shabbir M.S., Setiawan R. Application of Artificial Intelligence powered digital writing assistant in higher education: randomized controlled trial // *Heliyon*. 2021. Vol. 7, Is. 5. P. 12–21. URL: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(21\)01117-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021011178%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)01117-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021011178%3Fshowall%3Dtrue) (дата обращения: 22.02.2025). DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07014.

17. Gayed J.M., Carlon M.K., Oriola A.M., Cross J.S. Exploring an AI-based writing Assistant's impact on English language learners // *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2022. Vol. 3. P. 55–67. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X22000108> (дата обращения: 12.02.2025). DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100055.
18. King M.R. A Conversation on Artificial Intelligence, Chatbots, and Plagiarism in Higher Education // *Cel. Mol. Bioeng.* 2023. Vol. 16, Is. 1. P. 1–2. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12195-022-00754-8> (дата обращения: 10.02.2025). DOI: 10.1007/s12195-022-00754-8.
19. Thorp H.H. ChatGPT is fun, but not an author // *Science*. 2023. Vol. 379, Is. 6630. P. 313–315. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adg7879> (дата обращения: 20.02.2025). DOI: 10.1126/science.adg78.
20. Каракозов С.Д., Самохвалова Е.А. Концепция информационно-методической поддержки использования информационных систем на основе искусственного интеллекта в подготовке студентов // *Преподаватель XXI век*. 2024. № 1. С. 19–36. URL: <http://prepodavatel-xxi.ru/sites/default/files/1936.pdf> (дата обращения: 10.02.2025). DOI: 10.31862/2073-9613-2024-1-19-36.
21. Широколобова А.Г. Искусственный интеллект как инструмент оптимизации работы преподавателя высшей школы // *Педагогика. Вопросы теории и практики*. 2024. № 9 (2). С. 138–145. URL: <https://pedagogy-journal.ru/article/ped20240018/fulltext> (дата обращения: 27.02.2025). DOI: 10.30853/ped20240018.
22. Nigam A., Pasricha R., Singh T. et al. A Systematic Review on AI-based Proctoring Systems: Past, Present and Future // *Educ Inf Technol*. 2021. 26. P. 6421–6445. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10597-x> (дата обращения: 21.02.2025). DOI: 10.1007/s10639-021-10597-x.
23. Антонова Н.Л., Абрамова С.Б. Дистанционное образование: онлайн-прокторинг как инструмент оценки результатов обучения // *Университетское управление: практика и анализ*. 2023. № 27 (2). С. 5–16. URL: <https://www.umj.ru/jour/article/view/1643> (дата обращения: 25.02.2025). DOI: 10.15826/umpra.2023.02.009.
24. Сысоев П.В., Филатов Е.М. Чат-боты в обучении иностранному языку: преимущества и спорные вопросы // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки*. 2023. Т. 28. № 1. С. 66–72. DOI: 10.20310/1810-0201-2023-28-1-66-72.
25. Диденко Э.Н., Егорова М.А., Лагуткина М.Д. Особенности применения чат-ботов при обучении иностранным языкам студентов неязыкового вуза (на примере английского) // *Филологические науки. Вопросы теории и практики*. 2024. № 17 (7). С. 2118–2122. URL: <https://philology-journal.ru/article/phil20240304/fulltext> (дата обращения: 03.03.2025). DOI: 10.30853/phil20240304.
26. Погружение в виртуальную реальность: VR-лаборатория РУДН. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-fest-2023.rudn.ru/track-1.html> (дата обращения: 26.02.2025).

УДК 378.4:378.1

DOI 10.17513/snt.40407

МЕТОДИКА РАЗВИТИЯ СОДЕРЖАТЕЛЬНОЙ РЕФЛЕКСИИ У БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Дрейцер С.И.

ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет», Москва,

e-mail: dreitser562@mgpu.ru

Исследование является актуальным в связи с необходимостью создания новой методики, способствующей развитию рефлексии у студентов педагогического направления. Это, в свою очередь, направлено на совершенствование их навыков работы с информационными технологиями в будущей профессиональной практике. Целью исследования являлось доказательство эффективности методики подготовки студентов – будущих педагогов к применению информационных технологий в профессиональной деятельности с помощью формирования определяющей и содержательной рефлексии путем участия студентов в учебных диалогах с применением технологий искусственного интеллекта. В исследовании участвовали 77 студентов ГАОУ ВО города Москвы «Московский городской педагогический университет» бакалавриата и магистратуры, которые изучали курс «Информационные и телекоммуникационные технологии в образовании». Исследование проводилось в течение одного семестра с февраля по июнь 2024 года и состояло из трех этапов: входной диагностики уровня эффективности применения информационных технологий, уровня сформированности определяющей и содержательной рефлексии, вторым этапом проводилось обучение студентов в течение 6 занятий для каждой группы, третьим этапом производилась контрольная диагностика. В работе представлены итоги экспериментальной проверки данной методики, а именно проведены входная и выходная диагностика уровня эффективности применения информационных технологий, а также уровня сформированности определяющей и содержательной рефлексии в рамках курса «Информационные и телекоммуникационные технологии в образовании», сделаны выводы об эффективности методики.

Ключевые слова: искусственный интеллект, информатизация образования, рефлексия, методика подготовки студентов – будущих педагогов, учебный диалог

METHOD OF ESSENTIAL REFLECTION DEVELOPING IN FUTURE TEACHERS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

Dreytser S.I.

Moscow City Pedagogical University, Moscow, e-mail: dreitser562@mgpu.ru

The research is relevant due to the need to create a new methodology that promotes the development of reflection among students of the pedagogical field. This, in turn, is aimed at improving their information technology skills in future professional practice. The purpose of the study was to prove the effectiveness of the methodology of preparing students – future teachers for the use of information technology in professional activities by forming a defining and essential reflection through the participation of students in educational dialogues using artificial intelligence technologies. The study involved 77 students of the Moscow State Pedagogical University with bachelor's and master's degrees who studied the course "Information and Telecommunication Technologies in Education". The study was conducted over the course of one semester from February to June 2024 and consisted of three stages: an entrance diagnosis of the level of effectiveness of the use of information technology, the level of formation of defining and essential reflection, the second stage was the training of students for 6 classes for each group, the third stage was the control diagnosis. The paper presents the results of an experimental test of this technique, namely, input and output diagnostics of the level of effectiveness of information technology use, as well as the level of formation of defining and essential reflection within the framework of the course "Information and Telecommunication technologies in education", conclusions are drawn about the effectiveness of the technique.

Keywords: artificial intelligence, informatization of education, reflection, preparing students – future teachers' method, educational dialog

Введение

В эпоху цифровизации многих процессов в обществе особую актуальность приобретает исследование роли цифровых образовательных ресурсов в образовательном процессе. Появляются всё новые и новые технологические решения, которые находят применение в сфере образования, становясь качественнее и доступнее.

Этот процесс выдвигает перед педагогическим сообществом ряд существенных

вызовов. Преподаватели, стоящие у истоков подготовки будущих педагогов, сталкиваются с необходимостью формирования у обучающихся компетенций в области применения информационных технологий. Важнейшими навыками становятся способность оценивать качество цифровых решений и проводить их апробацию. При этом ключевым аспектом выступает понимание уместности применения того или иного инструмента в контексте кон-

кретных образовательных задач и поставленных целей [1].

Как отмечают В.В. Гриншкун, П.В. Кузьмин, современные образовательные программы должны выходить за рамки простого формирования практических навыков [2; 3]. Они призваны формировать целостное цифровое мировоззрение педагога, развивая способность осмысленно и обоснованно выбирать информационные технологии для решения конкретных образовательных задач.

Данное исследование посвящено разработке методики подготовки педагогических работников к применению информационных технологий в профессиональной деятельности. Ключевое предположение исследования заключается в том, что успешная подготовка педагогов возможна через развитие у них рефлексии. Такой подход обусловлен тем, что внедрение цифровых образовательных ресурсов в образовательный процесс требует от педагога глубокого понимания собственного педагогического замысла и способности его реализации. Это предполагает наличие у педагога способности не только к проектированию образовательного процесса и педагогических действий, но и также умения оценивать уместность и эффективность применения цифровых образовательных ресурсов в конкретной педагогической ситуации [4].

Для принятия обоснованного решения о внедрении цифрового образовательного ресурса педагогу необходимо понимать, обладает ли он достаточной информацией о возможностях и ограничениях данного инструмента, уметь анализировать имеющиеся данные и делать выводы о целесообразности его использования. В процессе применения инструмента педагогу важно отслеживать эффективность его использования, оценивать, насколько с помощью данного инструмента удастся достичь запланированных образовательных результатов, своевременно корректировать педагогические действия [5; 6].

После завершения занятия с применением внедряемого цифрового образовательного ресурса педагог должен уметь анализировать полученные результаты, сопоставлять их с изначальными целями, оценивать вклад цифрового образовательного ресурса в достижение образовательных результатов и делать выводы для дальнейшей работы. Все эти компетенции: принятие решения о внедрении цифрового образовательного ресурса, анализ данных об эффективности его использования, анализ результатов и сопоставление их с изначальным проектом занятия, требуют высо-

кого уровня сформированности рефлексии, которая позволяет педагогу осознанно и целенаправленно интегрировать информационные технологии в свою профессиональную деятельность [7].

В контексте данного исследования определяются следующие типы рефлексии: определяющая и содержательная рефлексия [8]. Определяющая рефлексия позволяет педагогу или студенту оценить текущую задачу через призму предыдущего опыта, определить, является ли задача для него новой, и выявить недостающие знания или навыки, необходимые для успешного решения задачи, особенно в контексте интеграции цифровых образовательных ресурсов. Педагог с развитым умением определяющей рефлексии умеет адекватно оценивать собственные компетенции, устанавливать критерии результативности и при необходимости обращаться к дополнительным источникам знаний [9; 10].

Содержательная рефлексия представляет собой более высокий уровень профессионального мышления. Она даёт педагогу возможность не просто диагностировать проблемные зоны, но и самостоятельно разрабатывать стратегии их преодоления, корректировать ход решения задачи в процессе ее решения, понимать, работает ли выбранный способ решения, и в чем конкретно он не работает, изменять и дорабатывать способ решения задачи при необходимости. При применении цифровых образовательных ресурсов в образовательном процессе содержательная рефлексия позволяет педагогу адаптировать успешные решения к другим задачам, учитывая различные типы образовательных ситуаций и ожидаемые образовательные результаты [11; 12].

Методика представляет собой использование учебных диалогов с применением технологии искусственного интеллекта, в рамках которых студенты решают кейсы педагогического проектирования с помощью цифрового персонажа, который задает им вопросы, реагирует на их ответы и предоставляет им необходимые данные для принятия решений. Подробнее методика была описана в предыдущих исследованиях [8; 13; 14].

Таким образом, **целью исследования** являлось доказательство эффективности методики подготовки студентов – будущих педагогов к применению информационных технологий в профессиональной деятельности с помощью формирования определяющей и содержательной рефлексии путем участия студентов в учебных диалогах с применением технологий искусственного интеллекта.

Материалы и методы исследования

Исследование реализовано посредством педагогического эксперимента, где независимой переменной было применение методики подготовки студентов – будущих педагогов к использованию информационных технологий, реализованной с применением систем искусственного интеллекта, а зависимой переменной – повышение уровня эффективности использования информационных технологий.

Выборка состояла из 77 студентов ГАОУ ВО города Москвы «Московский городской педагогический университет» бакалавриата и магистратуры, которые изучали курс «Информационные и телекоммуникационные технологии в образовании». Распределение испытуемых между экспериментальной и контрольной группой проводилось случайным образом. Так как педагогический эксперимент проводился в рамках университетских занятий, было решено примерно половину каждой группы определить как экспериментальную, другую половину – как контрольную. Возраст студентов составил от 19 до 24 лет.

Исследование проводилось в течение одного семестра с февраля по июнь 2024 года и состояло из трех этапов: вначале проводилась входная диагностика уровня эффективности применения информационных технологий, а также уровня сформированности определяющей и содержательной рефлексии; вторым этапом проводилось обучение студентов в течение 6 занятий для каждой группы; третьим этапом производилась контрольная диагностика уровня эффективности применения информационных технологий, а также уровня сформированности определяющей и содержательной рефлексии.

Полученные данные диагностики были переведены в числовой формат согласно критериям, описанным ранее в работе автора [8]. Для диагностики сформированности определяющей и содержательной рефлексии использовались следующие критерии. Для диагностики определяющей рефлексии: студенты фиксируют недостаточность условий или излишнее условие для решения задачи (недостаточность данных), отсутствие способа решения задачи, обращаются с запросом на дополнительную информацию. Для диагностики содержательной рефлексии: студенты планируют действие, анализируют процесс его выполнения, корректируют действие в ходе его реализации, фиксируют и обобщают действие, переносят способ действия на другие задачи [8]. Подробное описание и обоснование способов диагностики эффективности применения информационных технологий в профессиональной деятельности педагога и критери-

ев диагностики рефлексии было приведено в одном из более ранних исследований [15].

Числовые данные были обработаны с помощью U-критерия Манна – Уитни, так как он хорошо подходит для непараметрических и малых выборок. Обработка данных была произведена в программе SPSS.

Результаты исследования и их обсуждение

Описание эксперимента

В ходе эксперимента в рамках курса «Информационные и телекоммуникационные технологии в образовании» студенты изучали, какие есть цифровые образовательные ресурсы и как можно их применять в педагогической деятельности. Отдельно и углубленно изучалась тема оценки эффективности применения цифровых образовательных ресурсов в профессиональной деятельности педагога, а именно типы и особенности применения метрик.

Для реализации эксперимента были использованы учебные диалоги с применением искусственного интеллекта на базе приложения Dailo. В рамках учебных диалогов студенты разговаривали с «наставником» и «персонажем» относительно эффективности цифрового образовательного ресурса, отвечали на их вопросы, запрашивали дополнительную информацию и задавали вопросы в диалоге и т.д.

В учебный диалог была интегрирована схема рефлексивного действия как по отношению к действию определяющей, так и содержательной рефлексии: остановка, фиксация, объективация и отчуждение [15]. На уровне повествования (нарратива) данные действия реализовывались в виде диалога, когда студенты примеряли на себя роль профессионального педагога и проговаривали, как они будут действовать перед тем, как начать решать задачу выбора и оценки цифровых образовательных ресурсов в рамках сюжетной задачи и как они будут действовать в процессе и после решения задачи. Затем в рамках учебных диалогов обучающиеся решали эту задачу. Изображение интерфейса учебных диалогов приведено ниже (рис. 1).

Функция искусственного интеллекта в рамках данного диалога заключалась, с одной стороны, в имитации общения, так как системы искусственного интеллекта обеспечивают синтез и распознавание речи, что позволяет создать эффект, как будто персонаж «слышит» и «отвечает» пользователям. С другой стороны – в семантическом анализе речи пользователей, что позволяет сделать диалог вариативным и по-разному реагировать на ответы испытуемых в соответствии с разными сценариями, заложенными заранее преподавателем.



Рис. 1. Иллюстрация приложения Dailo

Источник: составлено автором по материалам разработанного приложения <https://dailo.co/>

Экспериментальная группа изучала курс в рамках учебных диалогов с применением систем искусственного интеллекта, контрольная группа изучала тему в рамках традиционных учебных диалогов с преподавателем. Каждое занятие представляло собой небольшую теоретическую вводную о тех или иных новейших цифровых образовательных ресурсах, после чего следовала практическая часть в виде решения кейсов: студенты из экспериментальной группы пробовали применить какие-либо цифровые образовательные ресурсы на основе данных в диалогах с искусственным интеллектом (индивидуально), студенты из контрольной группы решали кейс также индивидуально, а затем обсуждали свое решение с преподавателем, где им нужно было обосновать, какое решение они предложили и почему именно такое решение, на основе данных из кейса. В начале и конце эксперимента проводилась диагностика уровня эффективности применения информационных технологий в педагогической деятельности и диагностика уровня рефлексии. В целях диагностики уровня эффективности применения информационных технологий студенты составляли план урока, в рамках которого было необходимо применить и обосновать применение информационных технологий. Для диагностики уровня сформированности рефлексии студенты участвовали в учебных диалогах, где необходимо было решать кейсы по принятию решений на основе неполных данных относительно педагогической деятельности.

Описание результатов

В результате были получены данные относительно изменений рефлексии в экспериментальной и контрольной группах, а также относительно изменения уровня эф-

фективности применения информационных технологий в экспериментальной и контрольной группах.

Результаты измерения рефлексии

В результате были получены четыре набора данных: данные проявления характеристик рефлексии экспериментальной группы «до и после» и данные проявления характеристик рефлексии контрольной группы «до и после». Результат, полученный с помощью обработки данных статистическим критерием, подтверждает значимые различия в распределении данных в экспериментальной группе и отсутствие значимых различий в распределении данных в контрольной группе.

Для иллюстрации различий между наборами данных можно использовать график, показывающий динамику между средними значениями уровня сформированности определяющей и содержательной рефлексии в экспериментальной и контрольной группах до и после проведения эксперимента (рис. 2).

Анализ графика позволяет заключить, что уровень сформированности рефлексии в экспериментальной группе, после обучения студентов-педагогов посредством учебных диалогов с применением систем искусственного интеллекта, продемонстрировал значительный рост и статистически значимое отличие от средних показателей. В то же время в контрольной группе уровень сформированности рефлексии существенно не изменился. Это в свою очередь означает, что участие в учебных диалогах с использованием технологий искусственного интеллекта действительно повлияло на проявление характеристик рефлексивного действия по отношению к педагогическому действию студента.

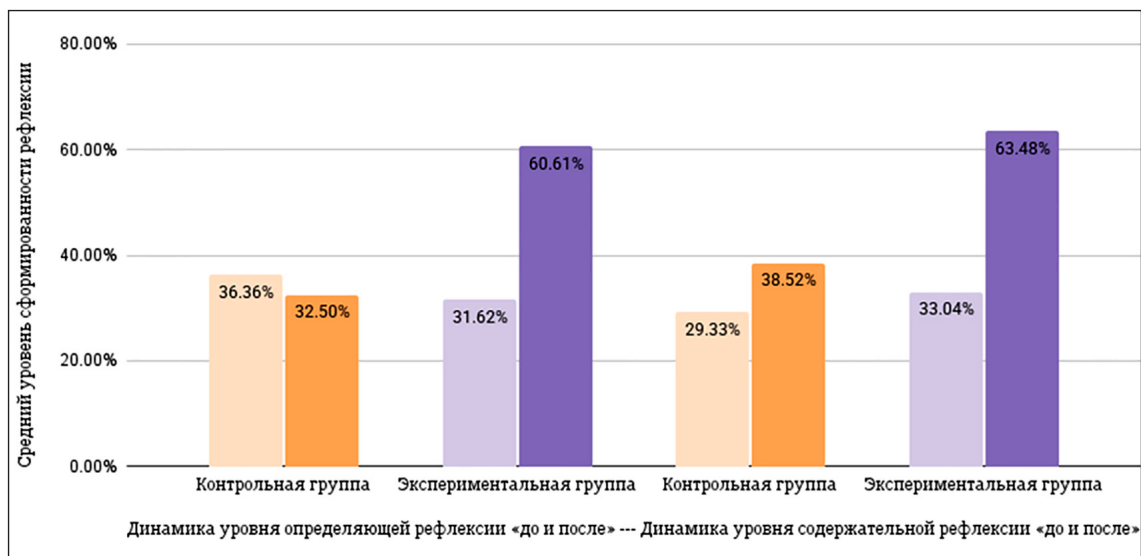


Рис. 2. Динамика средних значений уровней сформированности рефлексии в экспериментальной и контрольной группах до и после обучения

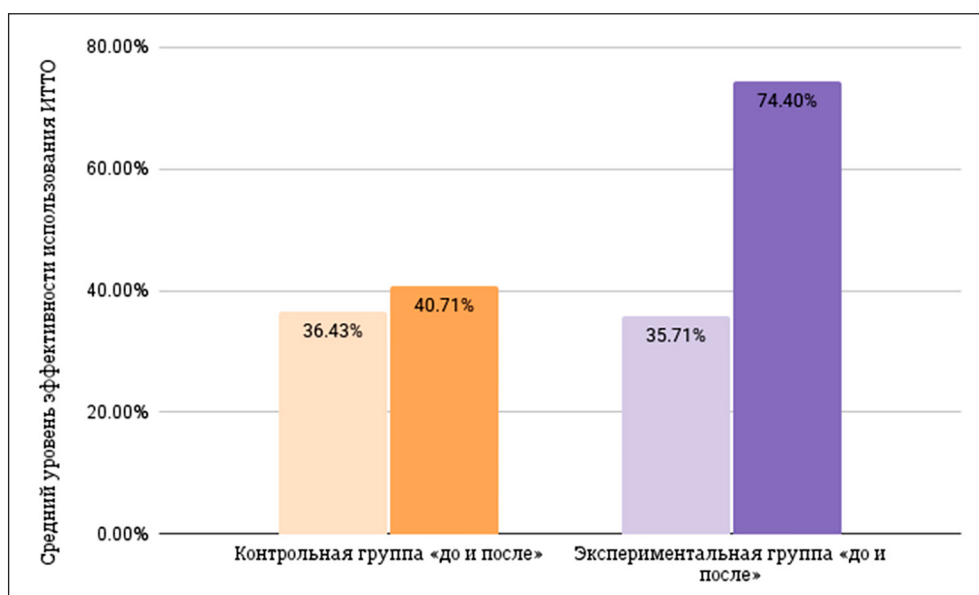


Рис. 3. Динамика средних значений уровней эффективности использования информационных технологий в рамках составления плана урока в экспериментальной и контрольной группах до и после обучения с помощью учебных диалогов

Результаты измерения уровня эффективности применения информационных технологий

В результате измерения были получены четыре набора данных: данные проявления уровня эффективности использования информационных технологий экспериментальной группы «до и после» и данные проявления уровня эффективности использования информационных технологий контрольной группы «до и после». Результат, полученный

с помощью обработки данных статистическим критерием, подтверждает значимые различия в распределении данных в экспериментальной группе и отсутствие значимых различий в распределении данных в контрольной группе. Для иллюстрации различий между наборами данных можно использовать график, показывающий динамику между средними значениями уровня эффективности использования информационных технологий экспериментальной и контрольной группы до и после проведения эксперимента (рис. 3).

Анализ графика позволяет заключить, что уровень эффективности использования информационных технологий в экспериментальной группе, после обучения студентов-педагогов посредством учебных диалогов с применением систем искусственного интеллекта, продемонстрировал значительный рост и статистически значимое отличие от средних показателей. В то же время в контрольной группе уровень эффективности использования информационных технологий существенно не изменился. Что в свою очередь означает, что участие в учебных диалогах с использованием технологий искусственного интеллекта действительно повлияло на повышения уровня эффективности использования информационных технологий по отношению к педагогической деятельности.

Заключение

В результате проведенного исследования была доказана эффективность методики подготовки студентов – будущих педагогов к использованию информационных технологий в профессиональной деятельности с помощью формирования определяющей и содержательной рефлексии путем участия студентов в учебных диалогах с применением технологий искусственного интеллекта. Данные, полученные в исследовании, подтвердили, что с помощью методики формируется определяющая и содержательная рефлексия у студентов – будущих педагогов, тем самым повышается уровень их подготовки к применению информационных технологий в профессиональной деятельности.

Результаты эксперимента подтверждают, что применение учебных диалогов с использованием технологий искусственного интеллекта для подготовки студентов – будущих педагогов существенно влияет на уровень проявления рефлексии, что значительно повышает уровень эффективности использования информационных технологий в профессиональной деятельности будущих педагогов.

Следовательно, образовательный процесс, включающий в себя как традиционные занятия с преподавателем, так и работу с системами искусственного интеллекта через решение профессиональных задач в формате диалога, демонстрирует более высокую эффективность в формировании навыков рефлексии у обучающихся и, соответственно, влияет на уровень эффективности использования студентами информационных технологий в профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Бидайбеков Е.Ы., Гриншкун В.В., Ошанова Н.Т., Сагимбаева А.Е. Особенности формирования системы обучения цифровым технологиям в образовании при подготовке бакалавров педагогического направления // Вестник КазНПУ им. Абая. Серия: Физико-математические науки. 2018. № 2 (62). С. 40-47. URL: <https://bulletin-phmath.kaznpu.kz/index.php/ped/issue/download/13/11> (дата обращения: 15.03.2025).
2. Гриншкун В.В. Информатизация в контексте развития педагогического образования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2014. №2. С. 5-10. URL: <https://journals.rudn.ru/informatization-education/article/view/6868> (дата обращения: 15.03.2025).
3. Кузьмин П.В. Формы и методы подготовки учителей к организации информационно-воспитательной деятельности в системе дополнительного образования // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32970> (дата обращения: 12.03.2025). DOI: 10.17513/spno.32970.
4. Хоченкова Т.Е. Модель цифровых компетенций педагогов: терминологический и содержательный аспекты // Вестник РУДН. Серия: Информатизация образования. 2021. № 4. С. 314-325. DOI: 10.22363/2312-8631-2021-18-4-314-325.
5. Ушакова Е.Г. К проблеме формирования рефлексии у педагогов // Вестник МГПУ. Серия: Педагогика и психология. 2020. № 2 (52). С. 38-45. DOI: 10.25688/2076-9121.2020.52.2.04.
6. Гвильдис Т.Ю., Говорушина Т.К. Феномен педагогической рефлексии в контексте системно-мыслительного подхода // Человек и образование. 2022. № 1 (70). С. 43–52. DOI: 10.54884/S181570410020210-6.
7. Мифтахутдинова А.Н. Роль рефлексии в педагогическом проектировании // Проблемы современного образования. 2023. № 5. С. 70–78. DOI: 10.31862/2218-8711-2023-5-70-78.
8. Дрейцер С.И. Оценка эффективности подготовки студентов педагогических специальностей к использованию информационных технологий в профессиональной деятельности // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 9. С. 91-97. DOI: 10.17513/snt.40154.
9. Слободчиков В.И., Цукерман Г.А. Генезис рефлексивного сознания в младшем школьном возрасте // Вопросы психологии. 1990. № 3. С. 25-36. URL: <http://voppsy.ru/issues/1990/903/903025.htm> (дата обращения: 15.03.2025).
10. Новиков П.В. Рефлексивное развитие младших школьников как условие успешности обучения в школе // Казанский педагогический журнал. 2021. № 3 (146). С. 216-224. DOI: 10.51379/kpj.2021.147.3.030.
11. Зак А.З. Характер связи планирования и рефлексии у младших школьников // Оригинальные исследования. 2020. Т. 10. № 5. С. 33-43. URL: <https://ores.ru/journals/oris-jrn/2020-oris-5-2020/a229944> (дата обращения: 12.03.2025).
12. Zak A. Characteristics of the methods of the theoretical thinking among schoolchildren in grades 5-11 // International Journal of Professional Science. 2023. Vol. 1. P. 16-28. DOI: 10.54092/25421085_2023_1_16.
13. Dreytser S.I. Formation of students' communication skills using the "Dailo" interactive dialogue system based on artificial intelligence technologies // RUDN Journal of Informatization in Education. 2024. Vol. 21. № 1. P. 44-55. DOI: 10.22363/2312-8631-2024-21-1-44-55.
14. Дрейцер С.И. Использование технологий искусственного интеллекта при разработке учебных диалогов для обучения будущих педагогов с помощью онлайн-симуляций // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». 2024. № 2 (68). С. 151-165. DOI: 10.25688/2072-9014.2024.68.2.13.
15. Grinshkun V.V., Dreytser S.I. Definition of reflection characteristics of educational process participants with artificial intelligence application // RUDN Journal of Informatization in Education. 2023. Vol. 20. № 2. P. 127-137. DOI: 10.22363/2312-8631-2023-20-2-127-137.

УДК 378.14:004.8
DOI 10.17513/snt.40408

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВЫСШЕМ МУЗЫКАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Дубровский В.В., Горбик Я.А.

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина»,
Елец, e-mail: dubrvl@rambler.ru

Цифровая трансформация высшего музыкального образования осмысливается в педагогической науке либо в философско-образовательном, либо в технологическом аспектах. Наблюдается дефицит научной рефлексии в области цифровой дидактики. Целью исследования является выявление перспективных направлений использования искусственного интеллекта в высшем музыкальном образовании. В исследовании использовались следующие методы: анализ научной литературы, содержащей кейсы внедрения искусственного интеллекта в высшее музыкальное образование, опрос преподавателей музыки, использующих нейросети в образовательной деятельности ($n = 21$). Были определены направления использования искусственного интеллекта в преподавании музыки: 1) обучение (сопровождение обучения) вокалу / игре на музыкальном инструменте; 2) развитие (сопровождение процесса развития) качеств музыкальной выразительности (музыкальной эмоциональности); 3) автоматизированная система оценки / анализа исполнительской техники; 4) использование чатов с нейросетями для обучения теории и истории музыки; 5) персонализация процесса обучения; 6) автоматизация работы с содержанием музыкального образования. В реальной практике наиболее востребованы автоматизированная система оценки и использование чатов с нейросетями, автоматизация работы с содержанием музыкального образования. Также дана классификация нейросетей по уровню интеграции решаемых задач: 1) монозадачные; 2) полизадачные; 3) интегральные модели. В зависимости от способа реализации на уровне формы обучения выделены следующие направления: 1) дистанционное обучение; 2) смешанное обучение; 3) интеллектуальные системы обучения. Последнее рассматривается в качестве новой образовательной перспективы. Таким образом, исследование выявило перспективные направления внедрения искусственного интеллекта в высшее музыкальное образование, среди которых наибольшую практическую востребованность показывают автоматизированная оценка исполнительской техники и работа с образовательным контентом, в то время как остальные направления обладают значительным, но еще не реализованным потенциалом.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросети, музыкальное образование, высшее образование, интеллектуальные системы обучения

DIRECTIONS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HIGHER MUSICAL EDUCATION

Dubrovsky V.V., Gorbik Ya.A.

Bunin Yelets State University, Yelets, e-mail: dubrvl@rambler.ru

Digital transformation of higher music education is understood in pedagogical science either in philosophical and educational or in technological aspects. There is a deficit of scientific reflection in the field of digital didactics. The aim of the study is to identify promising areas of using artificial intelligence in higher music education. The following methods were used in the study: analysis of scientific literature containing cases of introducing artificial intelligence into higher music education, a survey of music teachers using neural networks in educational activities ($n = 21$). Six areas of using artificial intelligence in music teaching were identified: 1) teaching (supporting teaching) vocals / playing a musical instrument; 2) development (supporting the development process) of the qualities of musical expressiveness (musical emotionality); 3) automated system for assessing / analyzing performance technique; 4) using chats with neural networks to teach the theory and history of music; 5) personalization of the learning process; 6) automation of work with the content of music education. In real practice, the most popular are the automated assessment system and the use of chats with neural networks, automation of work with the content of music education. Also, a classification of neural networks is given by the level of integration of the tasks to be solved: 1) mono-task; 2) poly-task; 3) integral models. Depending on the method of implementation at the level of the form of training, the following areas are distinguished: 1) distance learning; 2) blended learning; 3) intelligent learning systems. The latter is considered as a new educational perspective. Thus, the study revealed promising areas for the introduction of artificial intelligence in higher music education, among which the greatest practical demand is shown by automated assessment of performance technique and work with educational content, while other areas have significant, but not yet realized potential.

Keywords: artificial intelligence, neural networks, music education, higher education, intelligent learning systems

Введение

Искусственный интеллект трансформирует образовательные процессы, предлагая новые инструменты для персонализации обучения, повышения вовлеченности сту-

дентов и оптимизации педагогических методов. В сфере высшего музыкального образования искусственный интеллект способен выполнять как задачи, характерные в целом для профессионального образования (адап-

тация учебных программ под индивидуальные потребности студентов, обеспечение интерактивной обратной связи), так и специфические задачи (автоматизация анализа исполнительской техники, обучение игре на инструментах, интеллектуальная система оценки музыкальных навыков). Однако, несмотря на очевидный потенциал, конкретные стратегии внедрения нейросетевых технологий в образовательную практику остаются недостаточно проработанными.

Анализ научных публикаций показывает, что большинство исследований посвящено либо общим вопросам применения искусственного интеллекта в высшем музыкальном образовании, таким как этические и философско-образовательные аспекты [1, 2], либо узким прикладным задачам, например таким, как использование алгоритмов опорных векторов, априорных ассоциаций для распознавания эмоционального содержания музыки [3], разработки алгоритма обучения игры на фортепиано на основе гибридной модели, которая объединяет сверточную нейронную сеть и модель скрытых состояний Маркова [4].

При этом реальные кейсы внедрения искусственного интеллекта в музыкальное образование демонстрируют дефицит методического осмысления данных практик, что находится в области цифровой дидактики. Очевидно, в настоящее время сообщество музыкальных педагогов (как, видимо, и все педагогическое сообщество) переживает стадию количественного насыщения образовательного пространства технологиями искусственного интеллекта. Развитие технологий посредством их внедрения в повседневность приводит к трансформации общества, изменяя привычные процессы и создавая перспективы для прогресса. Видимо, этап качественного скачка еще не наступил.

В данном контексте **целью исследования** является выявление перспективных направлений использования искусственного интеллекта в высшем музыкальном образовании.

Материалы и методы исследования

Для обобщения опыта внедрения искусственного интеллекта в высшее музыкальное образование применялся метод поиска научных статей по базам данных Web of Science, Scopus, РИНЦ на английском и русском языках, анализ научных публикаций, посвященных тематике исследования. На основе интерпретации результатов теоретического анализа были выявлены направления использования искусственного интеллекта в высшем музыкальном образовании.

Для эмпирического подтверждения полученных данных проведен опрос 69 преподавателей музыки, работающих в учреждениях высшего образования Липецкой, Воронежской, Тамбовской, Белгородской, Курской областей.

Результаты исследования и их обсуждение

Ключевые направления использования искусственного интеллекта в высшем музыкальном образовании определены в настоящем исследовании в зависимости от выполняемой образовательной функции (решаемой дидактической задачи), уровня интеграции решаемых задач и способа реализации на уровне формы обучения. Сразу отметим, что в настоящей работе внимание сконцентрировано именно на дидактических функциях нейросетей в высшем музыкальном образовании, поэтому способности искусственного интеллекта генерировать музыку по заданным параметрам, аккомпанировать исполнителю, улучшать звучание не рассматриваются в качестве предмета исследования, в то время как данные функции могут быть востребованы на другом уровне образования (например, для повышения мотивации учения школьников) или в деятельности музыканта-исполнителя. Вопрос обучения будущих музыкальных педагогов или музыкантов навыкам использования нейросетей в профессиональной деятельности является темой отдельного научного исследования.

Опрос показал, что только 21 преподаватель музыки (30,4%) использует нейросети в профессиональной деятельности. Далее оценка направлений использования искусственного интеллекта в высшем музыкальном образовании в исследовании производилась на основе данных, полученных от этих респондентов ($n = 21$).

Классификация нейросетей в зависимости от выполняемой образовательной функции (решаемой дидактической задачи) в высшем музыкальном образовании включает в себя 6 направлений: 1) обучение (сопровождение обучения) вокалу / игре на музыкальном инструменте; 2) развитие (сопровождение процесса развития) качеств музыкальной выразительности (музыкальной эмоциональности); 3) автоматизированная система оценки / анализа исполнительской техники; 4) использование чатов с нейросетями для обучения теории и истории музыки; 5) персонализация процесса обучения; 6) автоматизация работы с содержанием музыкального образования.

Обучение (сопровождение обучения) вокалу или игре на музыкальном инстру-

менте – наиболее популярное направление в исследовательских проектах с искусственным интеллектом. Чаще всего ученые для решения этой задачи разрабатывают транскрибатор для определенного музыкального инструмента. Например, S. Giraldo и др. предлагают вариант автоматизации процесса обучения игры на виолончели [5]. Подобного рода алгоритмы базируются на соотношении исполнения обучающегося с эталонным звучанием. Однако, как утверждают авторы данного проекта, основная проблема связана с тем, что оценка тембра опирается на профессиональное восприятие педагогов. Авторам удалось осуществить комплексный подход к оценке тембральных параметров виолончельной музыки, реализовать возможность адаптации к индивидуальным исполнительским стилям и интегрировать экспертные оценки в машинные алгоритмы. С. Ji, M. Tong в качестве базового элемента системы обучения использовали алгоритм автоматической транскрипции фортепианного исполнения, модифицированную архитектуру двунаправленной рекуррентной нейронной сети и систему автоматизированной оркестровки [6]. Обратная связь с обучающимися осуществляется, как пишут M. Agarwal, R. Greer, посредством большой языковой модели (LMM) [7].

Дифференциация в названии данного направления «Обучение (сопровождение обучения)» означает, что предлагаемые модели рассчитаны как на обучение игре на музыкальном инструменте с нуля, так и на совершенствование исполнительской техники.

Данные опроса преподавателей музыки показали, что это направление использования нейросетей наименее востребовано: 2 респондента (9,5%) практикуют адаптивные алгоритмы для совершенствования исполнительской техники студентов). Вместе с тем 61,9% респондентов считают это направление довольно перспективным. Препятствием в его освоении в основном считают отсутствие необходимых компетенций либо условий для взаимодействия со специалистами в области искусственного интеллекта, а также недостаточное финансирование.

Развитие (сопровождение процесса развития) качеств музыкальной выразительности в большей степени связано с разработкой алгоритмов, позволяющих работать с музыкальной эмоциональностью. L. Wan демонстрирует алгоритм, который использует в обучении студентов музыкальной выразительности. В основе этого алгоритма заложены следующие технологии: двумерная модель эмоций Тейера, модель распозна-

вания эмоций, сочетающая сверточную нейросеть (CNN) и метод опорных векторов (SVM) [8]. Y. Chen, Y. Sun демонстрируют алгоритм, который объединяет адаптивный кодер музыкальных эмоций и многозадачную модель обучения. Этот алгоритм способен точно распознавать стили и эмоциональные особенности композиций [9].

Для респондентов работа с музыкальной выразительностью посредством искусственного интеллекта также является редко практикуемой технологией (3 респондента (14,3 %)). Перспективным в обучении музыки данное направление считают 42,8% преподавателей. В качестве препятствий для развития этого направления причины перечислены те же.

Автоматизированная система оценки или анализа исполнительской техники очень близка в техническом отношении первому направлению, поскольку для осуществления оценки необходим транскрибатор, эталонное исполнение, LMM. Например, X. Chu демонстрирует нейросетевую модель для оценки музыкальных навыков. Гибридный подход (генетический алгоритм + DL) повышает точность и адаптивность системы. Архитектура модели включает в себя комплексную сеть (определяет вес каждого показателя и вычисляет общий балл), классификационную сеть (обрабатывает данные линейно/нелинейно, выдавая итоговую оценку), алгоритм BPNN (трехслойная сеть прямого распространения) (применяется для анализа качества обучения). После обучения модель способна автономно оценивать уровень исполнительской техники каждого студента [10].

Отметили, что используют на практике подобные алгоритмы, 6 респондентов (28,5%). Все представители выборки (100%) считают данное направление использования искусственного интеллекта в музыкальном образовании наиболее перспективным.

Использование чатов с нейросетями для обучения теории и истории музыки является наиболее доступным направлением в музыкальном образовании с использованием искусственного интеллекта. W. Zhou, Y. Kim доказывают эффективность практики обучения с ChatGPT-4 [11]. Используют нейрочаты в преподавательской деятельности 76,2% опрошенных. Приведем наиболее интересные примеры. Во-первых, доступ студентов к нейрочатам в режиме реального времени позволяет реализовать адаптивные лекции, то есть лекции, предполагающие генерацию объяснения микротем с учетом уровня студента («Объясни квартет-квинтовый круг как для начинающего»,

«Покажи связи между модуляциями в симфониях Бетховена»). Во-вторых, при подготовке к практическим занятиям преподаватель может генерировать интерактивные упражнения («Сгенерируй 5 вопросов о хроматизмах у Вагнера»). В-третьих, можно использовать на практических занятиях имитацию исторического контекста диалога с «композиторами»: чат в роли Моцарта или Шёнберга для объяснения их техник («Ответь как Бах: почему ты использовал фугу в “Искусстве фуги”?»). В-четвертых, осуществление анализа музыкальных произведений: разбор партитур – объяснение гармонических структур по текстовому описанию («Какие аккорды доминируют в 3-й части “Лунной сонаты” и почему?»), стилистический анализ – сравнение приемов (оркестровка Дебюсси и Равеля). В-пятых, использование элементов геймификации: квизы и викторины (интерактивные игры на узнавание стилей по аудиофрагментам, сгенерированным искусственным интеллектом), ролевые квесты («Найди ошибку в партитуре XVIII века»).

Персонализация процесса обучения представляет собой создание индивидуальных образовательных траекторий для студентов с учетом их потребностей, качества обучения и успеваемости. L. Zhang представляет модель Entropy Features Data Fusion Optimized, которая позволяет разрабатывать сценарии индивидуальных образовательных траекторий студентов на основе многоуровневого сбора данных (агрегация образовательных показателей из различных источников), применения алгоритма оптимизации точной оценки качества обучения и автоматической адаптации образовательного процесса под индивидуальные профили студентов [12].

Понимаемая таким образом персонализация обучения посредством искусственного интеллекта никем не практикуется из числа опрошенных преподавателей музыки. Вместе с тем 52,4% респондентов высказываются о необходимости внедрения данного направления цифровой дидактики в практику высшего музыкального образования.

Автоматизация работы с содержанием музыкального образования предполагает прежде всего оцифровку и анализ музыкального контента. X. Li демонстрирует возможности искусственного интеллекта по работе с китайской традиционной музыкальной культурой: а) оцифровка традиционной китайской музыки; б) преобразование нотных записей в цифровой формат (бинаризация, шумоподавление, повышение резкости); в) извлечение музыкальных признаков (вре-

менные, частотные, кепстральные характеристики) для анализа структуры произведений; г) анализ и классификация традиционных китайских музыкальных стилей [13]. Понимаемое в данном ключе применение искусственного интеллекта более тяготеет не к образовательной, а к научно-исследовательской функции. Используют искусственный интеллект в данном направлении полностью или частично 33,3% респондента. Считают данное направление наиболее перспективным для развития музыкального образования в цифровую эпоху 76,2% преподавателей музыки.

Классификация нейросетей по уровню интеграции решаемых задач может быть представлена в виде: 1) монозадачных моделей (например, только транскриптор какого-либо музыкального инструмента); 2) полизадачных моделей (чаще всего адаптивные алгоритмы обучения музыки выполняют оценочные функции с возможностью персонализации обучения); 3) интегральных моделей, предполагающих интеграцию в сетевую образовательную (музыкальную) платформу. Третье направление описывается J. Wei, M. Karupiah, A. Prathik. Авторы показывают функционирование сетевой образовательной платформы MET-AI, выполняющей функции обучения музыкальных навыков, автоматизированной оценки, персонализации обучения, поддержки педагогического сообщества, имеющей также постоянно пополняемую цифровую музыкальную библиотеку [14].

Классификация нейросетей в зависимости от способа реализации на уровне формы обучения предполагает следующие варианты: 1) дистанционное обучение; 2) смешанное обучение; 3) интеллектуальные системы обучения. Большинство респондентов отмечают, что технологии искусственного интеллекта наиболее уместны в реализации музыкального образования в дистанционном формате (61,9%) либо как компонент смешанного обучения (52,4%): подготовка к практическим занятиям (42,8%), самостоятельная работа студента (38,1%), поддержка контактных форм работы – лекционных и практических занятий (28,6%). Среди опрошенных только 14,3% поддерживали идею интеллектуальной системы обучения. Концепцию последнего необходимо озвучить.

Один из вариантов интеллектуального образовательного пространства нового уровня представлен в исследовании D.D. Dai [15]. Автор обращается к идее интеллектуальной системы обучения, то есть образовательной системе, основанной на использовании искусственного интеллекта в качестве

полноправного субъекта образовательной деятельности. Часто роль искусственного интеллекта в интеллектуальных системах обучения определяют как замещающую преподавателя, однако D.D. Dai переосмысливает данную концепцию, говорит об антропоцентричной трансформации образования в эпоху искусственного интеллекта [15]. Выражая солидарность данной концепции, охарактеризуем ее философско-образовательную основу, которая базируется на качественном скачке от «информатизации инфраструктуры» к «гуманизации образовательного процесса». Эта трансформация включает три фундаментальных аспекта: 1) переход от инструментального подхода к антропоцентричной модели; 2) смещение акцента с преподавания на раскрытие личностного потенциала; 3) трансформацию роли педагога из транслятора знаний в наставника цифровой эпохи.

Интеллектуальная система обучения выражена в интегральной природе технологического ландшафта умного класса / умного образовательного пространства. Такая экосистема объединяет в единое целое: 1) людей – студентов и преподавателей; 2) интерактивные поверхности – мультитач-технологии; 3) беспроводные решения – 5G-сети; 4) адаптивные системы анализа успеваемости; 5) облачные сервисы [15].

Вместе с тем, помимо технологической бравяды, концепция интеллектуальных систем обучения предполагает трансформацию педагогической системы. D.D. Dai сравнивает традиционную образовательную парадигму «4 + 3» с парадигмой цифровой дидактики «7 + 7». Речь идет о компонентах взаимосвязанной деятельности обучающегося и преподавателя. В доцифровом измерении педагогический процесс представлял собой единство как минимум четырех действий преподавателя (подготовка занятия, преподавание, домашнее задание и оценка обучающихся) и трех действий обучающегося (предварительное ознакомление, обучение на уроке/занятии, выполнение домашнего задания). Парадигма цифровой дидактики представляет как минимум 7 процессов в деятельности преподавателя (расширение образовательных ресурсов, постановка целей, сенсорное знакомство, распределение задач, руководство и объяснение, автоматический мониторинг и оценка, персонализация) и 7 процессов в деятельности обучающегося (самостоятельное предварительное знакомство, ожидание обучения, ситуативный опыт, кооперативное обучение, объяснение в демонстрации, закрепление результатов, прорывные моменты, относящиеся к сфере креативности) [15].

Заключение

Проведенное исследование показало, что существует разрыв между кейсами использования искусственного интеллекта в музыкальном образовании, публикуемых в научной литературе, и реальными практиками. Данные кейсы сгруппированы по шести направлениям: 1) обучение (сопровождение обучения) вокалу / игре на музыкальном инструменте; 2) развитие (сопровождение процесса развития) качеств музыкальной выразительности (музыкальной эмоциональности); 3) автоматизированная система оценки / анализа исполнительской техники; 4) использование чатов с нейросетями для обучения теории и истории музыки; 5) персонализация процесса обучения; 6) автоматизация работы с содержанием музыкального образования. В реальной практике наиболее востребованы такие направления, как автоматизированная система оценки или анализа исполнительской техники, использование чатов с нейросетями для обучения теории и истории музыки, автоматизация работы с содержанием музыкального образования. Остальные направления практически не используются в высшем музыкальном образовании, хотя признаются многими респондентами довольно перспективными. Основными ограничениями в развитии данных направлений являются отсутствие консолидации между специалистами разных областей, дефицит специфических компетенций и недостаточное финансирование.

Список литературы

1. Субботина М.В. Искусственный интеллект и высшее образование – враги или союзники // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология. 2024. Т. 24. № 1. С. 176–183. DOI: 10.22363/2313-2272-2024-24-1-176-183.
2. Алексеева Л.Л., Михайлова А.А., Командышко Е.Ф. Искусственный интеллект и музыкальное образование // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2024. № 4 (120). С. 112–120. DOI: 10.24412/1997-0803-2024-4120-112-120.
3. Yao H. The Two-Way Drive in Modern Informational Music Teaching and Traditional Music Culture Inheritance // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2024. Vol. 9 (1). P. 1–14. DOI: 10.2478/amns-2024-0598.
4. Dai Y. Teaching Integration of Piano and Traditional Music Elements in Colleges and Universities Based on Network Flow Optimization // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2024. Vol. 9 (1). P. 1–14. DOI: 10.2478/amns.2023.2.01545.
5. Giraldo S., Waddell G., Nou-Plana I., Ramirez R. Automatic Assessment of Tone Quality in Violin Music Performance // Frontiers in Psychology. 2019. Vol. 10. Art. 334. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00334.
6. Ji C., Tong M. Research on Innovative Models of Piano Education Driven by Artificial Intelligence // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2024. Vol. 9 (1). DOI: 10.2478/amns-2024-1641.

7. Agarwal M., Greer R. Spectrogram-Based Deep Learning for Flute Audition Assessment and Intelligent Feedback // Proceedings of the 2023 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), Laguna Hills, CA, USA, 11–13 December. 2023. P. 238–242. DOI: 10.1109/ISM59092.2023.00045.
8. Wan L. Research on Diversified Teaching Strategies for Music Courses in Colleges and Universities under the Background of Artificial Intelligence. // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2024. Vol. 9 (1). P. 1–17. DOI: 10.2478/amns-2024-0212.
9. Chen Y., Sun Y. The Usage of Artificial Intelligence Technology in Music Education System under Deep Learning // IEEE Access. 2024. Vol. 1. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3459791.
10. Chu X. Construction of artificial intelligence music teaching application model using deep learning // Mobile Information Systems. 2022. Vol. 5. P. 3707512. DOI: 10.1155/2022/3707512.
11. Zhou W., Kim Y. Innovative music education: An empirical assessment of ChatGPT-4's impact on student learning experiences // Education and Information Technologies. 2024. Vol. 29. P. 20855–20881. DOI: 10.1007/s10639-024-12705-z.
12. Zhang L. Fusion Artificial Intelligence Technology in Music Education Teaching // Journal of Electrical Systems. 2024. Vol. 19 (4). P. 178–195. DOI: 10.52783/jes.631.
13. Li X. Research on the Path of Integrating Traditional Culture into Music Teaching in Colleges and Universities in the Era of Artificial Intelligence // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2024. Vol. 9 (1). DOI: 10.2478/amns-2024-0868.
14. Wei J., Karuppiyah M., Prathik A. College music education and teaching based on AI techniques // Computers and Electrical Engineering. 2022. Vol. 100. P. 107851. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2022.107851.
15. Dai D.D. Artificial Intelligence Technology Assisted Music Teaching Design // Scientific Programming. 2021. Vol. 9. P. 1–10. DOI: 10.1155/2021/9141339.

УДК 376.42

DOI 10.17513/snt.40409

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ МОТОРНОЙ СФЕРЫ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

¹Евтушенко И.В., ²Евтушенко А.И.¹ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет»,

Москва, e-mail: evtivl@rambler.ru;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный психолого-педагогический университет», Москва

Современные общественные изменения существенно повлияли на отрасль коррекционной педагогики, предметом которой являются процессы обучения, воспитания, развития и преодоления нарушений у обучающихся с умственной отсталостью – олигофренопедагогику. Недостаточная обеспеченность диагностическими технологиями и учебно-методическими материалами специалистов, высокая вовлеченность практических работников в образовательный процесс, препятствуют возможности своевременного выявления особых образовательных потребностей обучающихся с умственной отсталостью (интеллектуальными нарушениями), что ограничивает возможность оказания и получения качественной коррекционно-развивающей образовательной помощи. Целью данного исследования выступила разработка модели комплексной диагностики двигательной сферы развития у младших школьников с интеллектуальными нарушениями (умственной отсталостью). В 2023-2024 учебном году на базе специальной образовательной организации, осуществляющей образовательную деятельность по адаптированным основным общеобразовательным программам, школы-интерната № 17 г. Москвы, были реализованы научные теоретические и эмпирические методы олигофренопедагогики: философского, методологического, медицинского, психолого-педагогического анализа; обобщения и систематизации данных передового педагогического опыта; моделирования содержания процесса физического развития школьников с нарушением интеллекта; педагогический эксперимент. В результате исследования была разработана комплексная диагностическая программа для оценки двигательного развития обучающихся младших классов с интеллектуальными нарушениями, включающая следующие показатели: антропометрический; мотивационный; функциональный; вариативности двигательной деятельности; сформированности темпо-ритмических навыков. Особенностью данной диагностики является то, что она предполагает оценку различных сторон моторной сферы развития; учитывает не только актуальное состояние детей, но и потенциальные возможности, зону «ближайшего развития», что позволяет прогнозировать пути совершенствования и ослабления нарушений моторной сферы; позволяет осуществлять достоверное изучение особенностей детей с интеллектуальными нарушениями.

Ключевые слова: комплексное изучение, дети с интеллектуальными нарушениями, моторная сфера, двигательное развитие

FEATURES OF A COMPREHENSIVE STUDY OF THE MOTOR SPHERE OF PRIMARY SCHOOL STUDENTS WITH MENTAL RETARDATION

¹Evtushenko I.V., ²Evtushenko A.I.¹Moscow State Pedagogical University, Moscow, e-mail: evtivl@rambler.ru;²Moscow State University of Psychology and Education, Moscow

Modern social changes have significantly influenced the branch of correctional pedagogy, the subject of which is the processes of education, upbringing, development and overcoming violations in students with mental retardation – «education of mentally retarded children». Insufficient provision of diagnostic technologies and educational materials of specialists, high involvement of practical workers in the educational process, prevent the possibility of timely identification of special educational needs of students with mental retardation (intellectual disabilities), which limits the possibility of providing and receiving high-quality correctional and educational assistance. The purpose of this study was to develop a model for comprehensive diagnostics of the motor sphere of development in younger schoolchildren with intellectual disabilities (mental retardation). In the academic year 2023-2024, on the basis of a special educational organization carrying out educational activities in adapted basic general education programs, boarding school №17 in Moscow, scientific theoretical and empirical methods of special pedagogy were implemented: philosophical, methodological, medical, psychological and pedagogical analysis; summarization and systematization of best teaching experience data; modeling the content of the process of physical development of schoolchildren with impaired intelligence; pedagogical experiment. As a result of the study, a comprehensive diagnostic program was developed to assess the motor development of elementary school students with intellectual disabilities, including the following indicators: anthropometric; motivational; functional; variability of motor activity; formation of tempo-rhythmic skills. A feature of this diagnosis is that it involves an assessment of various aspects of the motor sphere of development; takes into account not only the current state of children, but also potential opportunities, the zone of «immediate development», which makes it possible to predict ways to improve and mitigate motor disorders; allows reliable study of the features of children with intellectual disabilities.

Keywords: comprehensive study, children with mental retardation, motor sphere, motor development

Введение

Произошедшие за последнее десятилетие изменения, обусловленные майскими указами Президента России, включая Национальную стратегию действий в интересах детей, продемонстрировали неуклонную поддержку государства активизации профессионализма практических работников и повышения информированности родителей, направленных на социальную интеграцию детей с ограниченными возможностями здоровья средствами коррекции и компенсации нарушений развития [1, с. 342; 2, с. 175; 3, с. 212]. Для достижения оптимального результата, связанного с включением особенных детей в общественные процессы необходимо учитывать, прежде всего, специфику психофизических характеристик обучающихся с ограниченными возможностями здоровья. Постоянно совершенствующиеся психолого-педагогические диагностические технологии позволяют своевременно выявлять позитивные и негативные психофизические изменения состояния обучающихся, обусловленные процессами окружающей действительности. К таким трансформациям можно отнести различные сферы развития, к которым относятся: когнитивные, физические, речевые, эмоционально-волевые, социально-коммуникативные и некоторые другие процессы. Все они формируются и развиваются комплексно, оказывая взаимное влияние друг на друга.

Диагностика моторной сферы обучающихся представленной категории, несмотря на относительно длинный исторический путь ее становления, по-прежнему является недостаточно совершенной, что обуславливается постоянным усложнением контингента специальных образовательных организаций: по степени выраженности интеллектуальной недостаточности, ее сочетанием с различными патохарактерологическими состояниями и иными первичными нарушениями, как анализаторных систем, так и опорно-двигательного аппарата. Современные учебные планы направления «Специальное (дефектологическое) образование» подготовки бакалавров по профилю «Олигофренопедагогика» включают разнообразные наименования учебных курсов, в процессе которых должны формироваться профессиональные компетенции будущих олигофренопедагогов в области физического воспитания: «Методика физического воспитания детей с нарушениями интеллекта»; «Эстетическое, трудовое и физическое воспитание детей с ограниченными возможностями здоровья»; «Технологии образования

умственно отсталых в предметной области “Физическая культура”» [4, с. 150]. Разработка современных подходов к подготовке специалистов в области физического воспитания детей с интеллектуальными нарушениями в ходе вступления отечественных педагогических систем в новый этап модернизации, связанной с совершенствованием ядра дефектологического высшего образования, требует оптимизации данных учебных курсов, включающих темы, связанные с диагностикой моторного развития [5, с. 297].

Физическая сфера обучающихся с умственной отсталостью, являясь одной из базисных и ключевых, представляет особый интерес для специалистов медицинской, педагогической и психологической направленности. Дети с интеллектуальными нарушениями, пребывая в депривационных условиях, находятся в зоне повышенного риска возникновения тех или иных моторных и физиологических девиаций. Процесс овладения важными для успешной социализации знаниями, умениями и навыками не может быть оптимальным, если двигательная недостаточность не компенсируется с помощью действенных и эффективных методик физического развития. Однако для их обоснования, подбора необходимых средств обучения и воспитания, а также создания особых условий требуется разработка и внедрение инновационной и показательной диагностической технологии [6, с. 68].

Цель исследования – разработка модели комплексной диагностики двигательной сферы развития у младших школьников с интеллектуальными нарушениями (умственной отсталостью).

Материал и методы исследования

В 2023-2024 учебном году на базе специальной образовательной организации, осуществляющей образовательную деятельность по адаптированным основным общеобразовательным программам, школы-интерната № 17 г. Москвы, были реализованы научные теоретические и эмпирические методы олигофренопедагогики: философского, методологического, медицинского, психолого-педагогического анализа; обобщения и систематизации данных передового педагогического опыта; моделирования содержания процесса физического развития школьников с нарушением интеллекта; педагогический эксперимент [7, с. 142].

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание профессиональной деятельности специалистов (учителей-дефек-

тологов, учителей физической культуры, педагогов-психологов, педагогов дополнительного образования), работающих с детьми с ограниченными возможностями здоровья, в настоящее время подвергается существенным трансформациям. Это связано с усложнением имеющихся вариантов отклоняющегося развития у обучающихся и включением в единое образовательное пространство лиц с выраженными интеллектуальными нарушениями, нередко в сочетании с расстройствами опорно-двигательного аппарата, анализаторных систем, эмоциональной сферы и поведения, что предусматривает постоянное совершенствование программ профессиональной подготовки, повышения квалификации и переподготовки. Этому посвящена исследовательская деятельность по разработке Московским педагогическим государственным университетом пилотного ядра дефектологического образования, непосредственно связанного с федеральным проектом по модернизации высшего педагогического образования [8, с. 93; 9, с. 260].

Анализ научной литературы и результатов современных исследований позволяет констатировать негативную тенденцию к ухудшению антропометрических и функциональных показателей физической сферы у значительной части обучающихся младшего школьного возраста [10, с. 10-14; 11, с. 19; 12, с. 59-65]. Данные проблемы у нормативно развивающихся детей чаще всего обусловлены неблагоприятной наследственностью, генетическим фактором и влиянием ряда неблагоприятных условий: гиподинамией, низкой двигательной активностью, несбалансированным питанием, стрессогенными жизненными ситуациями, недостаточной доступностью своевременного и качественного медицинского обслуживания. Однако, эти же факторы, оказывают более серьезное деструктивное влияние на физическое развитие обучающихся с интеллектуальными нарушениями. По результатам исследований А.А. Дмитриева [13], Е.М. Мастюковой [14, с. 10-15], В.М. Мозгового [15, с. 32], можно выделить несколько основных причин физической недостаточности у детей изучаемой группы: психофизическая неготовность к режиму обучения; несформированность мотивационной составляющей (дети в процессе физического воспитания быстро утомляются и прекращают двигательную деятельность, не понимают ценности усердия и трудолюбия, основным методом обучения для них является игровой); генетически обусловленные особенности физического развития (отклонения от средней антропометрической

нормы по таким показателям, как рост, вес, окружности головы и груди и др.); бедность арсенала двигательных действий, что обуславливает необходимость обучения разнообразным действиям для физического совершенствования; значительные трудности в закреплении и переносе в бытовую действительность формируемых навыков и умений.

Таким образом, можно предположить, что на физическое развитие младших школьников с интеллектуальными нарушениями влияют не только общие внешние и внутренние, но также и специфические, в том числе депривационные, свойственные только этой категории детей, факторы. Данные обстоятельства позволяют сделать вывод о том, что эти обучающиеся входят в своеобразную группу риска по возникновению осложнений двигательного развития, а это, в свою очередь, предполагает разработку путей решения таких проблем не только медицинскими или реабилитационными, но и специальными педагогическими и коррекционно-развивающими средствами.

Проведенный анализ научной медицинской, психологической и педагогической литературы, обобщение данных современных исследований, а также опыт собственной практической экспериментальной деятельности, позволил разработать комплексную диагностическую программу для оценки двигательного развития обучающихся младших классов с интеллектуальными нарушениями. В основу научной гипотезы легло предположение о том, что моторную сферу необходимо изучать разносторонне, комплексно, с помощью следующих показателей: антропометрического; мотивационного; функционального; вариативности двигательной деятельности; сформированности темпо-ритмических навыков.

Антропометрическое исследование является одним из основных методов определения количественной характеристики изменчивости особенностей строения тела человека. Благодаря проведенным измерениям предполагается определение степени гармоничности, либо дисгармоничности физического развития детей с интеллектуальными нарушениями, а также приблизительных причин моторной недостаточности. Антропометрическое исследование способствует выявлению подозрений на серьезные физиологические проблемы, такие как: гидроцефалия, микроцефалия, ожирение, сниженная жизненная емкость легких, недостаточность питания. Собранные фактические данные представляют высокую статистическую и диагностическую достоверность.

Исследование мотивационного показателя призвано оценить эмоционально-волевые особенности двигательной деятельности обучающихся с интеллектуальными нарушениями. Мотивы и стремления детей оказывают существенное влияние на физическое совершенствование и становление моторных качеств. Изучение данного показателя предполагает использование диагностического психологического опроса школьников с последующим анализом ответов; позволяет получить качественно-количественную характеристику мотивационной составляющей двигательной деятельности.

Функциональное состояние моторной сферы предусматривает изучение качества выполнения физкультурных нормативов по пяти направлениям: силовой, скоростной, статической выносливости, ловкости и гибкости. Данный блок диагностической программы призван определить качественно-количественную характеристику функционального состояния моторной сферы обучающихся младших классов с интеллектуальными нарушениями. С помощью полученных результатов можно определить актуальные дефициты и потенциальные пути физического развития и коррекции.

Важным диагностическим показателем является уровень вариативности и разнообразия двигательной деятельности, который демонстрирует сформированность арсенала моторных действий, используемых обучающимися. Дети с интеллектуальными нарушениями наиболее подвержены проблеме дефицита разнообразных движений. Те двигательные акты, которые формируются и закрепляются у них спонтанно, часто оказываются неоптимальными с физиологической и биомеханической точек зрения, и потенциально могут приводить к возникновению тех или иных негативных двигательных стереотипов и двигательных трудностей. А те правильно сформулированные моторные действия, которым детей обучают педагоги, не закрепляются детьми и не переносятся в самостоятельную и бытовую деятельность. Скудность арсенала движений приводит к тому, что дети в незнакомой ситуации нередко действуют неуверенно, скованно, применяя неадекватные двигательные установки.

Сформированность темпо-ритмических навыков является относительно независимым показателем сформированности двигательной и психической деятельности в целом. Овладение ребенком с интеллектуальными нарушениями чувством ритма является очень сложным процессом, который должен включать в себя: готовность ког-

нитивной, физической и психологической сфер развития; относительную сформированность пространственно-временного восприятия; постоянную целенаправленную работу по формированию способов синхронного и отложенного воспроизведения ритмического рисунка. Уровень сформированности темпо-ритмических навыков в произвольной двигательной деятельности показывает, насколько хорошо взаимодействуют психические функции, отвечающие за внимание, восприятие, мышление, целенаправленные моторные действия, эмоционально-волевой компонент.

Особенности реализации диагностической программы обусловлены психофизическим разнообразием детей с нарушениями интеллекта и необходимостью ее внедрения в специальную коррекционно-развивающую педагогическую среду. Комплексное исследование структуры моторной сферы обучающихся предполагает использование следующего примерного алгоритма действий специалиста.

Сбор общих данных. На начальном этапе необходимо зафиксировать имя и фамилию, точный возраст, вариант адаптированной образовательной программы, рекомендованной ПМПК в связи с наличием первичного нарушения развития ребенка, отнесенность к определенной группе здоровья, присутствие нарушений опорно-двигательного аппарата, участие в занятиях дополнительного образования физкультурной направленности, медицинские противопоказания к двигательной деятельности.

Определение мотивационной составляющей проводится индивидуально в форме диагностического опроса обучающегося. Ответы и поведенческие реакции заносятся в бланк психологического опросника.

Сбор антропометрических данных представляет из себя проведение и запись замеров следующих показателей: роста (с помощью ростомера), веса (с помощью весов), окружностей груди и головы (с помощью измерительной ленты), жировых складок на животе, спине, бицепсе и трицепсе (с помощью калипера). Затем определяются комплексные показатели с помощью соответствующих вычислений: индекс массы тела (отношение веса к росту), сумму жировых складок. С помощью стандартных процентильных таблиц необходимо выявить соответствие показателей определенным процентильным коридорам, которые демонстрируют отношение к статистическим группам нормативно развивающихся школьников, что позволит примерно определить степень гармоничности физического развития.

Выявление функционального состояния двигательной сферы можно проводить с помощью выполнения обучающимися различных нормативных упражнений: сжатие пятикилограммового кистевого эспандера, полные приседания, прыжки через ленту/полосу за 20 секунд, планка на локтях, удержание груза весом 1 кг на вытянутых в стороны руках, удержание баланса на ведущей ноге, передачи мяча педагогу во временной отрезок продолжительностью 25 секунд, расстояние между кончиками пальцев и опорной поверхностью в полном наклоне без сгибания коленей. Обучающимся с интеллектуальными нарушениями может быть оказана обучающая или иная помощь, которая не повлияет значительно на количественный результат исследования. Данные записываются в таблицу и анализируются для определения уровней функционального состояния двигательной сферы.

Исследование вариативности и разнообразия двигательных действий проводится индивидуально с каждым ребенком. Обучаемому предлагается выполнить как можно большее количество различных движений импровизационного характера за 5 минут. Педагог же фиксирует действия участника обследования в бланк. Разрешается подсказывать ребенку и мотивировать его, если он испытывает трудности, но не показывать ему движения и не давать четких инструкций к их выполнению.

Изучение сформированности чувства ритма реализуется с использованием диагностических приемов, которые предполагают выполнение обучающимся заданий на синхронное и повторное воспроизведение ритмического рисунка, демонстрируемого с помощью счета, движений и частей музыкальных произведений различных стилей, темпо-ритмических особенностей.

Заключение

На данном этапе исследования была разработана и подготовлена к апробации и внедрению комплексная диагностика моторной сферы развития младших школьников с интеллектуальными нарушениями, которая состоит из следующих диагностических блоков: антропометрический, мотивационный, функциональный, темпоритмический и блок вариативности двигательных действий. Особенностью данной диагностики является то, что она предполагает оценку различных сторон моторной сферы развития; учитывает не только актуальное состояние детей, но и потенциальные возможности, зону «ближайшего развития», что позволяет прогнозировать пути совершенствования и ослабления наруше-

ний моторной сферы; позволяет осуществлять достоверное изучение особенностей детей с интеллектуальными нарушениями и может быть использована для диагностирования обучающихся других категорий при адаптации; позволяет выявить наличие у ребенка патологических проявлений двигательной сферы. Сложность ее применения может быть обусловлена продолжительностью времени, отводимого на совершение диагностических процедур в образовательном процессе; проведением обследования преимущественно в индивидуальной форме; психической неготовностью детей к выполнению заданий.

В дальнейшем планируется продолжить работу по совершенствованию диагностической программы в процессе ее апробации и внедрения в практическую деятельность системы коррекционно-развивающего обучения детей с интеллектуальными нарушениями.

Список литературы

1. Горохова М.С., Никандрова Т.С. Некоторые условия реализации инклюзивного образования обучающихся с тяжелыми и множественными нарушениями развития // Инклюзивное образование: теория и практика: сборник материалов V Международной научно-практической конференции. Орехово-Зуево: ГГТУ, 2020. С. 341-344. URL: https://repomo.ggtu.ru/wp-content/uploads/content/metodicheskij_kabinet/sborniki_materialov/ISBN%20SBORNIK%20Inklyuzivnoe%20obrazovanie%202020.pdf (дата обращения: 28.04.2025). ISBN 978-5-87471-355-3.
2. Борякова Н.Ю., Данилова А.М., Евтушенко Е.А., Евтушенко И.В., Левченко И.Ю., Лифанова Т.М., Орлова О.С., Ткачева В.В., Туманова Т.В., Филичева Т.Б. К вопросу о наименовании отдельных категорий обучающихся с ограниченными возможностями здоровья // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 10-2. С. 175-177. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=10627> (дата обращения: 03.06.2025).
3. Тишина Л.А., Данилова А.М., Шишкова М.И., Артёмова Е.Э. Применение дистанционных технологий в специальном образовании: проблемы и риски // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11-1. С. 212-218. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38365> (дата обращения: 28.04.2025). DOI: 10.17513/snt.38365.
4. Евтушенко И.В., Горский Б.Б., Воронкова В.В., Евтушенко А.И. Особенности формирования правовой культуры студентов-дефектологов в условиях модернизации высшего образования // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 4. С. 150-154. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39592> (дата обращения: 28.04.2025). DOI: 10.17513/snt.39592.
5. Евтушенко И.В., Евтушенко Е.А., Воронкова В.В. Особенности духовно-нравственного воспитания школьников с нарушениями интеллектуального развития // Инновационные методы диагностики, профилактики и коррекции нарушений развития детей и подростков: Сборник материалов V Междисциплинарной научно-практической конференции с международным участием (Москва, 18–19 апреля 2023 года). М.: Московский институт психоанализа, 2023. С. 291-300. EDN: MXRMMW.
6. Евтушенко А.И. Роль занятий современными балльными танцами в эстетическом развитии детей с легкими и умеренными интеллектуальными нарушениями // Коррекционная педагогика. 2018. № 2. С. 67-73. EDN: URLNPG.

7. Евтушенко И.В., Евтушенко А.И., Евтушенко Д.И. К вопросу о формировании профессиональных компетенций тьютора дополнительного образования в системе дуального обучения // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6 (1). С.141-145. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38712> (дата обращения: 28.04.2025). DOI: 10.17513/snt.38712.
8. Тушева Е.С., Горский Б.Б. Блочно-модульное проектирование адаптивных образовательных программ дефектологической переподготовки. М.: Прометей, 2012. 208 с. ISBN 978-5-4263-0099-6.
9. Алмазова А.А., Ерохина Е.Л., Чертов В.Ф., Шаронова О.В. Ключевые аспекты формирования «мягких навыков» у будущих педагогов // Наука и школа. 2022. № 6. С. 259-268. URL: <http://nauka-i-shkola.ru/sites/default/files/259268.pdf> (дата обращения: 28.05.2025). DOI: 10.31862/1819-463X-2022-6-259-268.
10. Левушкин С.П., Жуков О.Ф., Скоблина Н.А., Скоблина Е.В. Индекс массы тела у российских школьников во втором десятилетии XXI века // Российский вестник гигиены. 2022. № 1. С. 10–14. URL: <https://rbh.rsmu.press/archive/2022/1/4/abstract?lang=ru> (дата обращения: 28.04.2025). DOI: 10.24075/rbh.2022.036.
11. Оценка физического развития детей и подростков: учебно-методическое пособие / под общ. ред. А.Б. Моисеева и Т.Г. Верещагиной. М.: РНИМУ им. Н.И. Пирогова, 2024. 119 с. URL: https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Faculties/PF/Dept_pdb/pdb/Ocenka_fizicheskogo_razvitiya_detei_i_podrostkov.pdf (дата обращения: 28.04.2025).
12. Чанчаева Е.А., Айзман Р.И., Сидоров С.С., Попова О.И., Симонова О.И. Современные тенденции развития детей младшего школьного возраста (обзор литературы) // Acta Biomedica Scientifica. 2019. № 4(1). С. 59-65. URL: https://www.actabiomedica.ru/jour/article/view/1979?locale=ru_RU (дата обращения: 28.04.2025). DOI: 10.29413/ABS.2019-4.1.9.
13. Дмитриев А.А. Развитие и коррекция двигательной сферы детей с интеллектуальными нарушениями: монография. Красноярск: КГПУ, 2002. 320 с. ISBN 5-85981-121-7.
14. Мастюкова Е.М., Московкина А.Г. Основы генетики: клиничко-генетические основы коррекционной педагогики и специальной психологии. М.: Владос, 2001. 368 с. ISBN 5-691-00596-0.
15. Мозговой В.М. Развитие и коррекция двигательных функций учащихся с нарушениями интеллекта в процессе физического воспитания: автореф. дис. ... докт. пед. наук. Москва, 2005. 40 с. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01002771936.pdf (дата обращения: 28.04.2025).

УДК 372.8:378.1
DOI 10.17513/snt.40410

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСКУССИОННЫХ ФОРМ РАБОТЫ В ОБУЧЕНИИ МОНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕЧИ СТУДЕНТОВ НЕЯЗЫКОВЫХ ФАКУЛЬТЕТОВ ВУЗА

Ильин А.Е.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И.Я. Яковлева»,
Чебоксары, e-mail: andreyilyin811@yandex.ru

Статья посвящена вопросам повышения уровня умений и навыков монологической речи студентов, обучающихся на неязыковых факультетах вуза, при помощи комплекса упражнений на основе дискуссионных форм работы. Автор на основе анализа научной и методической литературы и с учетом существующей практики рассматривает особенности обучения монологу как одному из важнейших видов продуктивной речевой деятельности, выявляет основные направления повышения эффективности процесса обучения студентов-нелингвистов монологической речи и обосновывает ценность применения дискуссионных форм в обучении монологу в вузе. Описываются упражнения на основе дискуссионных форм, которые могут помочь преподавателям, ведущим работу на неязыковых факультетах, улучшить существующую практику обучения монологическому высказыванию на занятиях по английскому языку в вузе. В статье автор поэтапно описывает проведение работы по обучению монологу на английском языке студентов опытной группы, включающую использование таких техник, как мозговой штурм, дебаты, техника аквариума и др., и приводит данные диагностики по ее результатам, которые, по его мнению, подтверждают выдвинутую гипотезу и доказывают, что дискуссионные формы работы действительно являются эффективными в обучении монологу на английском языке студентов, для которых английский язык не является основным направлением подготовки.

Ключевые слова: монолог, говорение, английский язык, студенты вуза, дискуссионные формы работы

TEACHING ENGLISH MONOLOGUE TO UNIVERSITY STUDENTS OF NON-LINGUISTIC FACULTIES WITH THE HELP OF DISCUSSION FORMS OF WORK

Ilin A.E.

Chuvash State Pedagogical University, Cheboksary, e-mail: andreyilyin811@yandex.ru

The article considers the questions of improving the students of non-linguistic faculties of the university monologue speech level with the help of based on discussion forms of work exercises. The author, taking into account the scientific and methodological literature data and referring to the existing practice, describes the peculiarities of heightening the effectiveness of teaching non-linguist students monologue speech and proves the importance of using discussion forms in exercising English monologue speech at a university. The author describes the exercises based on discussion forms, which can help lecturers working at non-linguistic faculties to improve the existing practice of teaching English monologue at a university. He describes the work with the students of the experimental group, including the use of the techniques such as brainstorming, debates, aquarium technique, etc. in details and provides the resulting data, which, in his opinion, confirm the put forward before hypothesis and prove that the described discussion forms of work are really effective in teaching the students for whom English is not the main field of study monologue speech.

Keywords: monologue, speaking, English, university students, discussion forms

Введение

Обучение устной речи является одной из основных целей обучения иностранному языку, в том числе на неязыковых факультетах вуза. Обучение диалогу и монологу на английском языке является для преподавателя сложнейшей методической задачей [1, с. 113]. Одновременно это и педагогическая проблема, для решения которой требуется поиск новых подходов и решений.

Монолог учеными-методистами определяется как речь одного человека, которая более или менее полно выражает мысли, намерения и оценки событий, составляющие которой скреплены между собой средствами межфразовой связи [2, с. 44]. Данному

виду дискурса присущи такие свойства, как организованность и спланированность, подобранность языковых средств, необходимость в правильном и точном выражении точки зрения и др. Здесь говорящий на основе определенного речевого материала строит произвольное тематически обусловленное структурированное высказывание [3]. В отличие от диалога, монологическая речь намного стройнее, более развернута и имеет более четкую структуру, она последовательна и упорядочена [4, с. 196]. Это вид речи, которому свойственна довольно высокая степень организованности. Здесь говорящий в основном строит свою речь на основе имеющегося у него устного

или письменного плана и соотносит с ним свое речевое высказывание на всем протяжении его воспроизведения [5].

Решение проблемы повышения уровня умений и навыков английской монологической речи сегодня является действительно важным для построения полноценного педагогического процесса по обучению английскому языку для преподавателей, работающих в неязыковых вузах. В обучении иноязычному общению в рамках получения университетского и в том числе нелингвистического образования диалог выступает таким видом речевого высказывания, который практикуется обучающимися с наибольшей частотой [6]. Однако практика показывает, что студенты здесь редко развивают навыки и умения вести монологи разных типов, выражать свое мнение, согласие или несогласие, давать критическую оценку действиям, приводить аргументы в пользу защиты своей точки зрения и т.д. В связи с этим нельзя не согласиться, что обучение монологу на английском языке студентов вуза является сложной методической задачей.

Все больше и больше специалистов, преподающих дисциплину «Иностранный (английский) язык» на факультетах, где направление подготовки не является языковым, убеждаются в том, что сложившаяся здесь практика обучения языкам требует пересмотра, так как существующие подходы не позволяют студенту в полной мере реализовать свой потенциал в плане развития умений и навыков устной речи. Одной из задач учителя и преподавателя вуза в этом случае является выявление новых эффективных форм и методов работы, а также поиск таких комплексов заданий и упражнений, которые определяют систему осознанных и последовательных действий по обучению студентов-нелингвистов построению связного английского монолога [7, с. 17]. В качестве результата в соответствии с традиционно ставящимися при обучении монологической речи целями и существующими критериями оценивания будет обозначаться способность логично, последовательно и с достаточной полнотой излагать свои мысли, выбирать и использовать соответствующие теме высказывания средства общения, выражать свою позицию относительно объекта высказывания и др. Качество устной неподготовленной речи при этом выступает показателем уровня владения студентом иностранным языком в целом [8, с. 143].

Одной из наиболее распространенных проблем, которые необходимо решить для повышения уровня умений и навыков

говорения у обучающихся, является низкая степень обеспеченности учебного процесса современным языковым материалом [9]. Поиск и дальнейшее включение в педагогический процесс таких форм и методов работы, которые позволят преподавателю своевременно устранять имеющиеся сложности в обучении, а также применение новейших электронных ресурсов в дополнение к традиционно используемым позволит наполнить педагогический процесс актуальным содержимым и организовать его наиболее корректно и качественно [10].

Все стороны педагогического процесса видят потребность в его совершенствовании за счет введения более эффективных способов организации педагогической деятельности, направленных на активизацию речевых навыков студентов и повышение у них уровня умений и навыков построения монологического высказывания. Практика показывает, что именно дискуссионные формы работы способствуют формированию у обучающихся умений и навыков строить связные монологические высказывания, отстаивать свое мнение, приводить аргументы и соблюдать речевой этикет. Кроме того, дискуссионные формы разбивают возможную монотонность традиционных занятий, способствуют включению каждого студента в учебный процесс и таким образом повышают его эффективность. Они также расширяют общекультурный кругозор обучающихся и развивают у них интеллектуальные способности (способность к формированию критического мышления, способность устанавливать логические связи между явлениями и др.), формируют творческие качества и улучшают коммуникативные умения и навыки [11]. Таким образом, здесь видно несоответствие между большими возможностями дискуссионных форм в обучении монологической речи студентов неязыковых направлений подготовки и степенью их включенности в педагогическую работу по обучению английскому языку в вузе на данный момент.

Цель исследования – на основе новейших достижений педагогической науки путем проведения опытной работы доказать, что дискуссионные формы работы значительно повышают эффективность процесса обучения английской монологической речи студентов-нелингвистов.

Материалы и методы исследования

Работа в рамках подтверждения гипотезы исследования проводилась на факультете истории, филологии, управления и права Чувашского государственного педагогического университета. Для того чтобы дока-

зять, что применение дискуссионных форм работы действительно позволяет значительно повысить уровень сформированности умений и навыков построения монолога у студентов, в процесс обучения дисциплине «Иностранный (английский) язык» был включен комплекс заданий на основе таких форм.

Применение теоретических методов подразумевало работу с литературой, раскрывающей методические и педагогические стороны обучения английскому языку студентов неязыковых направлений подготовки, формулировку целей и задач исследования и определение соответствующих форм и методов работы. Был уточнен потенциал дискуссионных форм в обучении английскому монологу студентов-нелингвистов, проведен подробный анализ рабочих программ по дисциплине «Иностранный (английский) язык» в таком аспекте, как обучение монологическому высказыванию. В процессе апробации комплекса упражнений по развитию умений и навыков монологической речи студентов на основе дискуссионных форм и при подведении итогов работы применялись практические методы исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

На констатирующем этапе на основе ранее разработанного автором диагностического материала был определен имеющийся у студентов уровень умений и навыков монологической речи. В дальнейшем две существующие группы первого курса направления подготовки «История и обществознание» были случайно определены как опытная и контрольная.

Задание, выполняемое на этом этапе, предполагало работу обучающихся с текстом и его последующий пересказ с обозначением своей точки зрения по затрагиваемой проблеме. Временное ограничение на выполнение задания составляло 20 мин.

При выставлении оценки использовались общепринятые критерии. Так, при выставлении балла по критерию «достижение коммуникативной цели» учитывались полнота понимания материала, достаточность раскрытия проблемы и способность донести свои мысли на английском языке и то, насколько высказывание было логичным и законченным. При оценивании лексической стороны задания учитывалась правильность использования тематического вокабуляра и количество ошибок. По грамматическому критерию высказывание оценивалось в соответствии с правильностью грамматического оформления

и количеством ошибок. На оценку фонетической стороны высказывания влияли произношение, интонация и темп речи обучающегося [12].

По результатам диагностики средний балл в опытной группе составил «3,8». С заданием справились 14 студентов (87% от общего количества в группе), 2 студентов (13%) с заданием справиться не смогли. Среди тех, кто справился с заданием, оценку «удовлетворительно» получили 25% испытуемых, по 31% испытуемых получили оценки «хорошо» и «отлично».

Средний балл в контрольной группе составил «4,0». С заданием справились 15 студентов (100% от общего количества в группе), из них оценка «удовлетворительно» была выставлена 20% студентов, по 40% получили оценки «хорошо» и «отлично».

Наглядно полученные на этом этапе результаты представлены на рис. 1.



Рис. 1. Результаты диагностики уровня умений и навыков монологической речи обучающихся на констатирующем этапе

Сложившаяся практика показывает, что одним из эффективных способов улучшить умения и навыки английской монологической речи студентов вуза, обучающихся на неязыковых направлениях подготовки, может быть внедрение в педагогический процесс по обучению дисциплине «Иностранный (английский) язык» соответствующих целей обучения комплексов упражнений [13, с. 43]. Такие комплексы упражнений должны быть современными и актуальными для студентов, вызывать у них заинтересованность и быстрый эмоциональный отклик, способствовать овладению ими важнейшими структурными составляющими изучаемого языка, давать обучаю-

щимся возможность работать с определенным языковым материалом в коммуникативном ключе, обеспечивать комбинируемость и взаимодополняемость языкового материала [14]. В связи с этим проведенная опытная работа представляла собой создание и апробацию в педагогическом процессе по обучению студентов направления подготовки «История и обществознание» комплекса упражнений на основе дискуссионных форм. Данный комплекс включал в себя серию текстов бытовой, социальной и общественно-политической тематики и упражнения к ним. Примером может служить схема работы с текстом бытовой тематики *Clean air at home*. Работа с этим текстом, как и с каждым последующим, делилась на три этапа: подготовительный, текстовый и заключительный.

На подготовительном этапе использовались упражнения следующего типа:

1. Read the title of the text and try to guess what it is about.
2. Match the words. Then, use the phrases to complete the sentences.

На текстовом этапе применялись задания такого характера:

1. Read the text "Clean air at home". What is the message of the text? Use these phrases:

In my opinion..., Personally, I believe..., I feel that..., It seems to me that..., I am of the view that...

2. Find the reasons of the problem that are mentioned in the text.

Example: First of all, air pollution comes from factories and our cars. Secondly, ... In addition, ... What's more ...

3. Find facts in the text that the author considers to be solution to the problem

Example: The solution is to open the windows 2–3 times a day.

The best way to ... is To ..., you really have to There are many choices. You can ...

Далее следовала организация дискуссии в форме мозгового штурма.

Задание: We have the question: How can we have clean air at home? Give as many ideas as possible. Then make a conclusion together. Use these phrases in your speech:

In my opinion..., From my perspective..., Personally, I believe..., I feel that..., It seems to me that, ..., First of all, ... Secondly, ... In addition, ... What's more, ... The solution is to ... The best way ...

Keep these rules to make the brainstorm:

- Accept all the creative and wild ideas.
- Build on other participants' ideas.
- Don't criticize other collaborators' ideas.
- Aim for quantity over quality.
- Make the brainstorming session visual.
- Make the brainstorm collaborative and fun.

Обучающиеся по очереди выдвигают по одной идее относительно проблемного вопроса. Приведенные речевые клише помогают им построить небольшое связанное монологическое высказывание. Данный метод подготавливает обучающихся к составлению монолога на следующем, заключительном этапе.

Работа с текстом социальной тематики *What's it like being eighteen?* делилась на те же этапы: подготовительный, текстовый и заключительный.

На заключительном этапе была организована дискуссия в форме дебатов:

We have the statement: "Hobbies distract from studying. Some of you agree with the statement, the others don't agree."

In groups choose one speaker and make up a list of arguments to defend your position. You have 5 minutes to prepare. Then the speakers will express their opinion for 3 minutes. After the presentation you can give some counterarguments if you have. That's why the members of the teams should listen to the opponent very attentively. Give as many facts, proves, arguments as you can. Don't interrupt, be respectful and wait for your turn to speak.

These phrases can be useful: First of all, ... Firstly, ... To begin with, ... I'd start by, ... Moreover ... You also have to consider, ... In addition, ... What's more, ... I might add that, ... Perhaps I should also mention...

Кроме того, на заключительном этапе предлагалось задание следующего типа:

1. Give a talk about what you like/dislike doing. Don't forget to say if you have time for your hobbies and extracurricular activities on weekdays.

В работе с текстом «A person's right to free education» после проведения подготовительного и текстового этапа была организована дискуссия с применением техники аквариума. Задание заключалось в следующем.

Divide into 3 groups and discuss the topic «A person's right for free education» including these points:

- the benefits of studying at the University;
- the problems some youngsters have (rural areas, lack of higher education institutions, teachers, etc.);
- who can help (government, media, students, etc.) and how (raising money, bringing problems to people's attention, etc.).

You have 5 minutes for discussion. Then choose one representor of each group to give a public speech. Each representor should stand in the center of the classroom and defend the position of his/her group. The members of the group can't speak, but they may give notes to their representors. Each repre-

sentor has 3 minutes to talk. Use these phrases in your speech:

Firstly, ... Secondly, ... What is more, ... Moreover, ... By the way, ... Nevertheless, there are some problems, ... It is difficult to, ... Sadly, there's a problem connected with ...

Обучающиеся обсуждают проблемный вопрос в группах, приводят примеры по каждому из аспектов задания, опираясь на прослушанный текст и на свои собственные идеи. Речевые клише помогают представителям группы построить связные монологи. Задача остальных – внимательно слушать выступающих и помогать своим представителям в выдвижении аргументов, новых примеров. В конце выступлений обучающиеся формируют вывод. Кроме вышеперечисленного, в качестве дискуссионных форм в ходе опытной работы были использованы круглый стол, конференция, форум, симпозиум, панельная дискуссия, дискуссия «Карусель» и др. Отсутствие рефлексии и неумение видеть свои ошибки является одной из причин, по которой большинство студентов неязыковых факультетов не в полной мере развивают у себя умения и навыки построения монологических высказываний [15]. Вышеприведенные формы и методы работы за счет правильно подобранных упражнений позволяют обучающимся увидеть и исправить имеющиеся у них в этом аспекте недочеты и таким образом повышают эффективность процесса обучения студентов английскому монологическому высказыванию.

Далее была проведена повторная диагностика на материале задания, схожего с использованным ранее. Ее данные были также обработаны и проанализированы.

По результатам диагностики средний балл в опытной группе увеличился с 3,8 до 4,37. Прирост показателей составил 0,57 балла. С заданием справились все 15 студентов (100% от общего количества в группе). Оценку «удовлетворительно» получили 13% испытуемых, 37% испытуемых – оценку «хорошо» и 50% – оценку «отлично».

Средний балл в контрольной группе составил «4,13» (прирост – 0,13 балла). С заданием также справились все 15 студентов (100% от общего количества в группе), из них оценка «удовлетворительно» была выставлена 27% студентов, по 33 и 40% получили оценки соответственно «хорошо» и «отлично».

Наглядно полученные результаты представлены на рис. 2 и 3.

Для проверки гипотезы о равенстве средних оценок в двух группах был использован критерий Стьюдента, на основании которого был принят тот факт, что различие

средних оценок при уровне значимости $\alpha < 0,05$ является значительным и гипотезу об их равенстве следует отвергнуть. Также на основе критерия Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$ была отвергнута гипотеза о равенстве дисперсий оценок в опытной и контрольной группах.

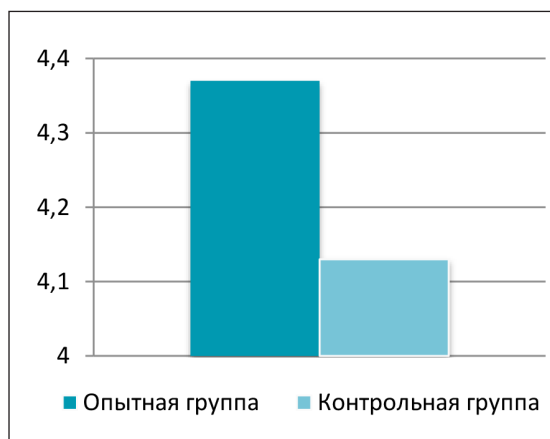


Рис. 2. Результаты диагностики уровня умений и навыков монологической речи обучающихся после проведения опытной работы

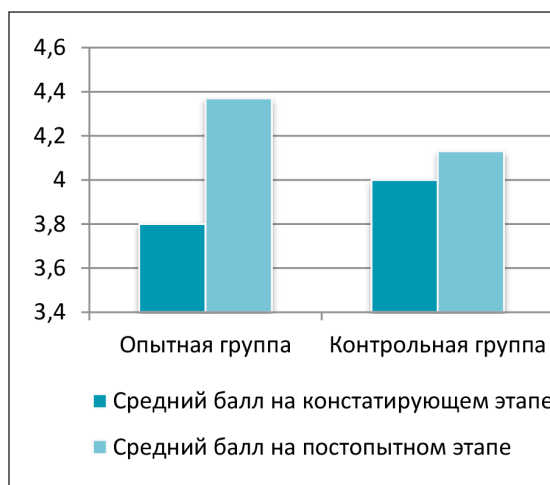


Рис. 3. Сравнительная динамика показателей опытной и контрольной групп до и после опытной работы

Таким образом, полученные данные и их последующая проверка при помощи методов математической статистики демонстрируют эффективность использования комплекса заданий по обучению студентов монологической речи на основе дискуссионных форм работы и подтверждают, что благодаря их включению в процесс обучения дисциплине «Иностранный (английский) язык» уровень требуемых умений и навыков обучающихся стал значительно выше.

Заключение

Результаты опытной работы доказывают несомненную эффективность дискуссионных форм в обучении студентов-нелингвистов английской монологической речи и подтверждают правильность выдвинутой гипотезы исследования. Включение комплекса упражнений с использованием элементов дискуссии в процесс обучения на факультетах, где направление подготовки не является языковым, совершенствует процесс обучения английскому языку в целом, позволяет студентам в полной мере реализовать свой потенциал в плане формирования и дальнейшего развития умений и навыков говорения на английском языке и в значительной степени повышает уровень умений и навыков монологической речи обучающихся.

Список литературы

1. Григорьева Е.Н., Абрамова А.Г., Гурьянова Т.Ю. Обучение условному диалогу-расспросу на английском языке в школе // Вестник Чувашия государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2021. № 1 (110). С. 112–119. DOI: 10.37972/chgpu.2021.110.1.014.
2. Габеева К.А. Особенности применения личностно-ориентированных упражнений по обучению монологической речи // Отечественная и зарубежная педагогика. 2018. Т. 1. № 2 (48). С. 41–47.
3. Ахмадова З.М., Яндиева З.Д., Арадова М.Б. Развитие монологической речи на английском языке у обучающихся посредством информационных технологий // Проблемы современного педагогического образования. 2024. № 84–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-monologicheskoy-rechi-na-angliyskom-yazyke-u-obuchayuschih-sya-posredstvom-informatsionnyh-tehnologiy> (дата обращения: 20.04.2025).
4. Безукладников К.Э., Крузе Б.А., Назарова А.В. Обучение иноязычной монологической речи студентов бакалавриата педагогического вуза на основе междисциплинарной интеграции // Вестник Томского государственного университета. 2020. № 453. С. 195–204. DOI: 10.17223/15617793/453/24.
5. Федорова С.И., Чевела О.В., Аликова Е.А. Особенности построения монологической речи при обучении иностранных студентов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 5–3. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35963> (дата обращения: 23.04.2025).
6. Назарова А.В. Внутренняя структура иноязычной монологической речи и учет ее особенностей при обучении студентов вуза // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 4–2. С. 262–265. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=9781> (дата обращения: 23.04.2025).
7. Габеева К.А. Формирование опыта вербального самовыражения у старших подростков в процессе овладения иноязычной монологической речью: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Москва: Институт стратегии развития образования Российской академии образования, 2022. 37 с.
8. Нестерова С.В. Способы оптимизации обучения устному иноязычному монологическому высказыванию в неязыковом вузе // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Проблемы языкознания и педагогики. 2018. № 2. С. 136–147. DOI: 10.15593/2224-9389/2018.2.12.
9. Вайсбурд М.Л. Использование учебно-речевых ситуаций при обучении устной речи на иностранном языке // Иностранные языки в школе. 2002. № 1. С. 93–94.
10. Ильин А.Е. Аутентичные подкасты в обучении студентов вуза аудированию на английском языке // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 1. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60024458> (дата обращения: 24.04.2025). DOI: 10.17513/snt.39919.
11. Касымова З.А. Об использовании интерактивной технологии дебатов в системе высшего образования // Иностранные языки в Узбекистане. 2019. № 2 (25). С. 95–105.
12. Ильин А.Е. Использование техники «пила» в обучении английской монологической речи студентов неязыковых факультетов вуза // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 2. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53701824> (дата обращения: 24.04.2025). DOI: 10.17513/spno.32553.
13. Есина Л.С. Повышение эффективности обучения монологической речи на английском языке с использованием цифровых технологий // Современное педагогическое образование. 2019. № 7. С. 42–46.
14. Попова М.И. Обучение умениям иноязычного говорения студентов педагогического отделения (на материале Якутии) // Мир науки, культуры, образования. 2024. № 3 (106). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obuchenie-umeniyam-inoyazychnogo-govoreniya-studentov-pedagogicheskogo-otdeleniya-na-materiale-yakutii/viewer> (дата обращения: 27.04.2025).
15. Пендюхова Г.К. Обучение монологическому высказыванию на английском языке в неязыковом вузе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3–2. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8732> (дата обращения: 27.04.2025).

УДК 372.881.111.1
DOI 10.17513/snt.40411

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ В 5-Х КЛАССАХ

Лазутова Л.А., Кулягина Н.С.

*Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева,
Саранск, e-mail: l_lasutova@mail.ru*

Использование нейросетей в иноязычном образовании открывает новые пути совершенствования коммуникативной компетенции современных школьников. Нейросети способны генерировать новые идеи для уроков, создавать интерактивные и игровые задания для обучения разным аспектам иностранного языка. Цель работы – теоретически обосновать и экспериментально доказать эффективность использования нейросетей в процессе обучения иностранному языку в 5-х классах. В ходе педагогического эксперимента были разработаны с использованием различных нейросетей и внедрены в процесс обучения иностранному языку задания, направленные на развитие лексических умений, умений чтения и умений говорения обучающихся. Авторами представлены результаты диагностического и итогового тестирования в экспериментальной и контрольной группах до и после внедрения разработанных заданий. Анализ полученных данных позволяет утверждать, что использование нейросетей в процессе обучения способствует не только повышению уровня владения языковыми и речевыми умениями, но и развитию познавательного интереса и мотивации к изучению иностранного языка. В статье подчеркивается необходимость дальнейшего изучения проблемы интеграции нейросетей в процесс обучения иностранному языку в школе и в системе дополнительного языкового образования.

Ключевые слова: иностранный язык, нейросети, искусственный интеллект, результаты обучения, мотивация.

Статья опубликована при поддержке гранта на проведение исследований по приоритетным направлениям научной деятельности университетов-партнеров (ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова и ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева») (Тема: «Научно-методическое сопровождение иноязычного образования в вузе и школе»).

THE POSSIBILITIES OF USING NEURAL NETWORKS WHEN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE IN GRADES 5

Lazutova L.A., Kulyagina N.S.

*Mordovian State Pedagogical University named after M.E. Evseviev,
Saransk, e-mail: l_lasutova@mail.ru*

The use of neural networks in foreign language education opens up new ways to improve the communicative competence of modern schoolchildren. Neural networks are able to generate new ideas for lessons, create interactive and game tasks for teaching various aspects of a foreign language. The purpose of the article is to theoretically substantiate and experimentally prove the effectiveness of using neural networks in the process of teaching a foreign language in grades 5. During the pedagogical experiment, tasks aimed at developing students' lexical, reading, and speaking skills were developed using various neural networks and introduced into the process of teaching a foreign language. The authors present the results of diagnostic and final testing in experimental and control groups before and after the implementation of the developed tasks. The analysis of the data obtained allows us to assert that the use of neural networks in the learning process contributes not only to improving the level of proficiency in language and speech skills, but also to the development of cognitive interest and motivation to learn a foreign language. The article highlights the need for further study of the problem of integrating neural networks into the process of teaching a foreign language at school and in the system of additional language education.

Keywords: foreign language, neural networks, artificial intelligence, learning outcomes, motivation

The article is published with the support of a grant for research in priority areas of scientific activity of partner universities of Ulyanovsk State Pedagogical University named after I. N. Ulyanov and Mordovian State Pedagogical University named after M.E. Evseviev (Topic: «Scientific and methodological support of foreign language education in schools and universities»).

Введение

Современные научные исследования и технологические инновации продолжают усиливать влияние искусственного интеллекта и нейросетей на жизнь современного человека, делая их неотъемлемыми и широко используемыми в различных областях, в том числе и в сфере образования.

Предмет «Иностранный язык» был и остается одним из сложных предметов для обучающихся в рамках школьной программы. Актуальность данного исследования обусловлена непрекращающимся поиском средств, технологий и методов обучения, способствующих как развитию иноязычной коммуникативной компетенции,

так и повышению мотивации к изучению иностранного языка. По мнению некоторых исследователей, использование в образовательном процессе инновационных технологий по сравнению с традиционными значительно повышает уровень владения языковыми и речевыми умениями обучающихся [1; 2]. Кроме того, искусственный интеллект может способствовать персонализации и индивидуализации обучения, а также коррекции результатов обучения по разным аспектам языка [3; 4]. Некоторые авторы подчеркивают, что приложения, созданные на основе искусственного интеллекта, имеют функцию распознавания речи обучающихся, анализа построения предложений на иностранном языке, развития лексико-грамматических умений, закрепления пройденного материала [5; 6]. Искусственный интеллект – это система или технология, которая стремится воссоздать или имитировать процессы умственной деятельности, присущие естественному интеллекту. Размышляя об искусственном интеллекте, неизбежно возникают вопросы о природе и сущности естественного интеллекта, корни которого уходят в латинское слово *intellectus*, означающее познание, понимание и рассудок. Благодаря интеграции искусственного интеллекта в образовательную деятельность обучение становится более целенаправленным, интересным и эффективным. Эти изменения в сфере образования не остаются незамеченными. Искусственный интеллект представляет собой инструмент дополнительной поддержки и автоматизации действий, связанных с организацией процесса обучения и созданием необходимых коммуникаций [7–9]. С развитием искусственного интеллекта роль педагогов трансформировалась в модель «искусственный интеллект + учитель». Благодаря развитию искусственного интеллекта появилась возможность создания интеллектуальных образовательных платформ и программ для обучения. Данная технология обладает функцией выполнения простых логических задач, общения с участниками на разных языках, моделирования профессиональных ситуаций, а также значительного облегчения повседневной работы [10]. Современные исследователи отмечают, что цифровизация образования подвергла трансформации в том числе и профессию учителя иностранных языков [11; 12]. Одним из обязательных требований, предъявляемых к учителю, является использование им гибких и доступных сервисов и инструментов цифровой образовательной среды [13; 14]. Возникает необходимость использования учителями нейросетей и искус-

ственного интеллекта в профессиональных интересах [15].

Нейросети являются платформами-генераторами, способными создавать уникальные учебные материалы и генерировать свежие идеи для уроков. Они могут помочь учителю в разработке интересных заданий, подборе аутентичных текстов и даже в создании интерактивных упражнений с целью развития лексико-грамматических умений, умений чтения, умений диалогической и монологической речи, умений аудирования.

Цель исследования – теоретически обосновать и экспериментально доказать эффективность использования нейросетей в процессе обучения иностранному языку в 5-х классах.

Гипотеза исследования – разработанные на основе нейросетей задания будут способствовать не только повышению уровня владения языком, но и развитию познавательного интереса и мотивации к изучению иностранного языка.

Материалы и методы исследования

В рамках данного исследования была проведена экспериментальная работа, направленная на выявление эффективности использования заданий, разработанных с применением платформ-генераторов на основе нейросетей, в процессе обучения английскому языку обучающихся 5-х классов. Целью эксперимента является доказательство гипотезы о том, что использование таких заданий будет способствовать не только повышению уровня владения языком, но и развитию познавательного интереса и мотивации к изучению иностранного языка.

При проведении исследования применялись следующие методы: анализ научно-методической литературы, экспериментальная работа, наблюдение, статистические расчеты данных.

Экспериментальная работа проводилась с обучающимися 5-х классов на базе МОУ «СОШ № 18» г. Саранск Республики Мордовия. В эксперименте приняли участие 24 человека, которые были разделены на контрольную и экспериментальную группы. В каждой группе было по 12 человек. На констатирующем этапе обучающимся был предложен диагностический тест из 17 заданий по модулю *My home, my castle* из УМК *Spotlight* за 5-й класс, проверяющий уровень сформированности лексических умений, умений чтения и говорения. Каждый правильный ответ оценивался в 1 балл. Оценивание осуществлялось по следующим критериям:

17-16 баллов – высокий уровень сформированности лексических умений, умений чтения и говорения;

15-14 баллов – уровень владения лексическими умениями, умениями чтения и говорения выше среднего;

13-12 баллов – средний уровень владения лексическими умениями, умениями чтения и говорения;

ниже 12 баллов – низкий уровень владения лексическими умениями, умениями чтения и говорения.

На констатирующем этапе эксперимента участники проходили обучение в рамках 4-го модуля УМК Spotlight. В экспериментальной группе использовались задания, сгенерированные с помощью нейросетей, направленные на закрепление лексических умений, развитие умений чтения и умений устной речи. В контрольной группе использовались традиционные упражнения из учебника английского языка. После внедрения разработанных с использованием различных нейросетей заданий контрольной и экспериментальной группам было предложено выполнить итоговый тест, направленный на определение уровня владения лексическими умениями, умениями чтения и умениями устной речи. Итоговый тест, так же как и диагностический, включал в себя 3 типа заданий, содержащих 17 вопросов, и оценивался по вышеуказанным критериям. Семь заданий проверяли уровень сформированности лексических умений, пять заданий были направлены на про-

верку умений чтения с полным пониманием прочитанного текста и способность извлекать конкретную информацию. Оставшиеся пять заданий проверяли сформированность умений устной речи.

Результаты исследования и их обсуждения

По итогам диагностирующего тестирования в экспериментальной группе были получены следующие результаты:

1) высокий уровень владения лексическими умениями, умениями чтения и говорения продемонстрировали 4 обучающихся (33,3%);

2) уровень выше среднего зафиксирован у 5 обучающихся (41,7%);

3) средний уровень зафиксирован у 1 обучающегося (8,3%);

4) не справились с тестом, продемонстрировав низкий уровень, 2 обучающихся (16,7%).

В контрольной группе результаты распределились следующим образом:

1) высокий уровень показали 5 обучающихся (41,7%);

2) уровень выше среднего зафиксирован у 4 обучающихся (33,3%);

3) средний уровень зафиксирован у 2 обучающихся (16,7%);

4) не справился с тестом, продемонстрировав низкий уровень, 1 обучающийся (8,3%).

Сравнительные результаты диагностирующего тестирования представлены на рисунке 1.

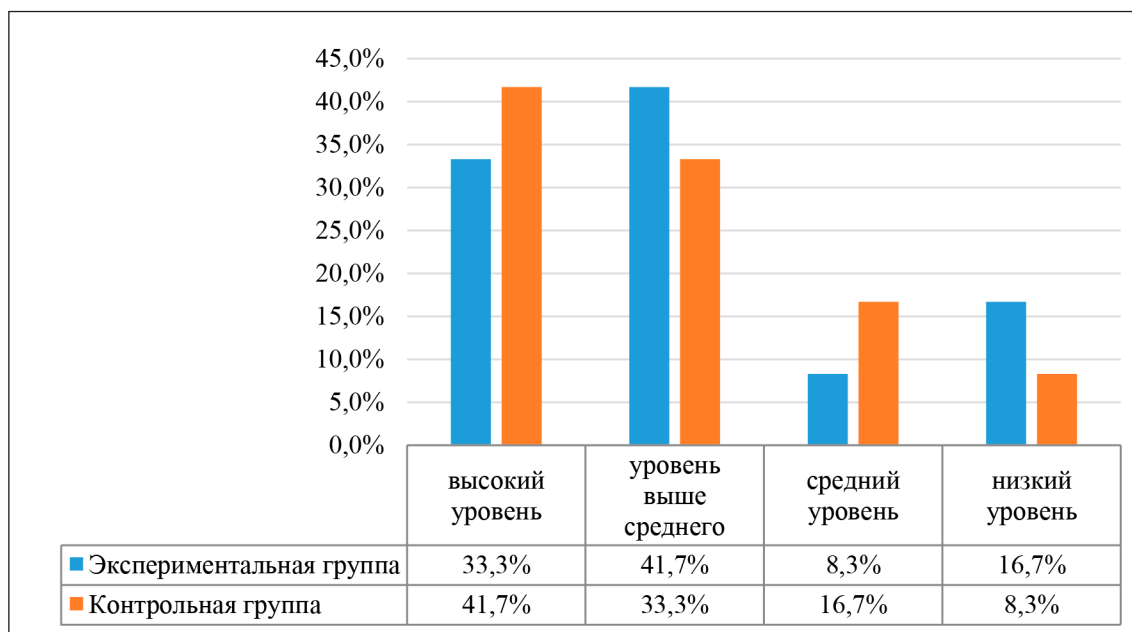


Рис. 1. Результаты диагностирующего тестирования
Источник: составлено авторами

Ниже представлены примеры заданий, разработанных с использованием платформ-генераторов для экспериментальной группы, иллюстрирующие подходы к развитию различных языковых и речевых умений и поддержанию мотивации к изучению английского языка. Эти задания направлены на создание интерактивной и стимулирующей образовательной среды, способствующей более глубокому усвоению материала и повышению интереса к процессу обучения.

Экспериментальной группе было предложено задание на закрепление лексических единиц по теме «Extensive Reading 4», разработанное с использованием платформы-генератора GigaChat. Нейросеть подобрала к словам определения на английском языке:

- 1) Playful: someone who likes to play and have fun.
- 2) Proud: feeling good about yourself or something you did.
- 3) Quiet: making little or no noise.
- 4) Wise: knowing a lot and making good choices.
- 5) Gentle: kind and careful.
- 6) Strong: having a lot of physical power.
- 7) Busy: having a lot of things to do.
- 8) Stubborn: not wanting to change your mind.
- 9) Slow: moving or doing something without much speed.

Сгенерированные описания были перенесены в интерактивное упражнение «Найдите пару» на платформе LearningApps.org. Обучающиеся сопоставляли слова с их определениями, что изображено на рисунке 2.

Использование данного задания способствовало эффективному запоминанию лексического материала, более глубокому пониманию значений слов, развитию умений чтения.

Вместо упражнения из учебника «Выберите верные и неверные утверждения», для развития умений и полного понимания прочитанного, участникам экспериментальной группы был предложен альтернативный вариант задания, сгенерированный нейросетью NiceBot на основе текста: «My secret diary. Name: Kate Green. Age: 12»:

«Match the sentences to the correct family member». (1) I fly planes and speak French. (2) I teach music and play the guitar. (3) I'm only 8, but I love video games! (4) I'm 70 and sometimes burn cookies. (5) I'm a baby, and I cry a lot.

Упражнение направлено на глубокое понимание текста через установление логических связей между описанием и характеристиками. Представленное задание развивает критическое мышление и навыки сопоставления. Процесс обучения становится более интерактивным и интересным, вовлекая школьников в активную работу с текстом.



Рис. 2. Упражнение на закрепление лексических единиц
Источник: составлено авторами на основе платформы LearningApps.org

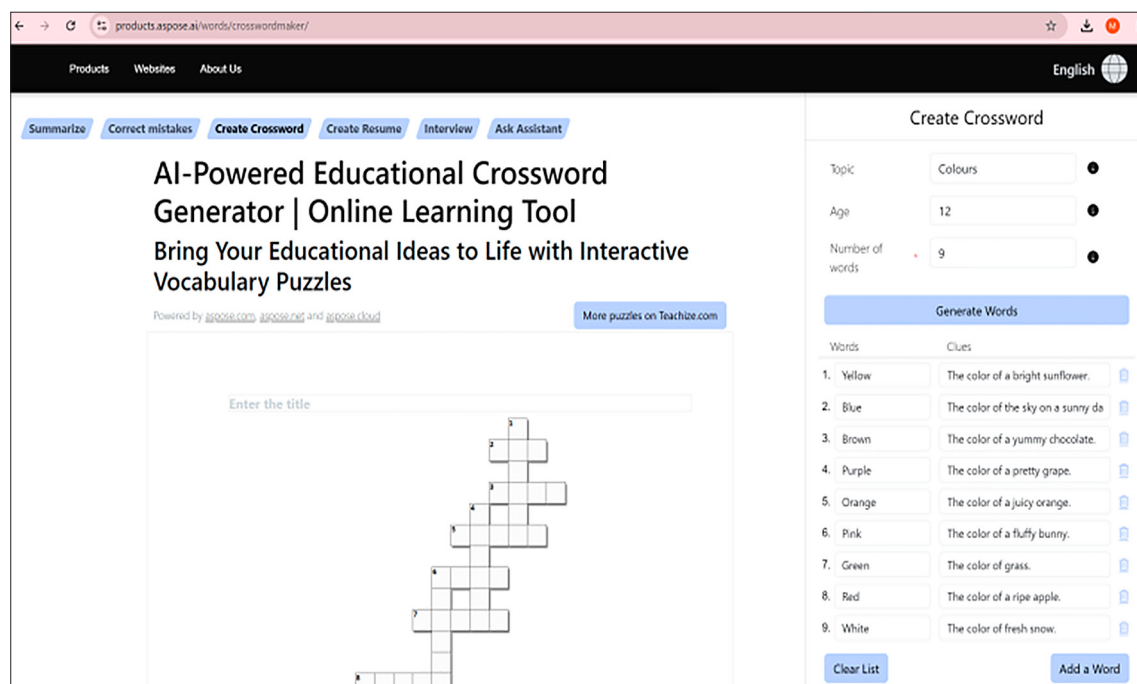


Рис. 3. Кроссворд для закрепления лексических единиц по теме «Цвета»
Источник: составлено авторами на основе нейросети Aspose.ai

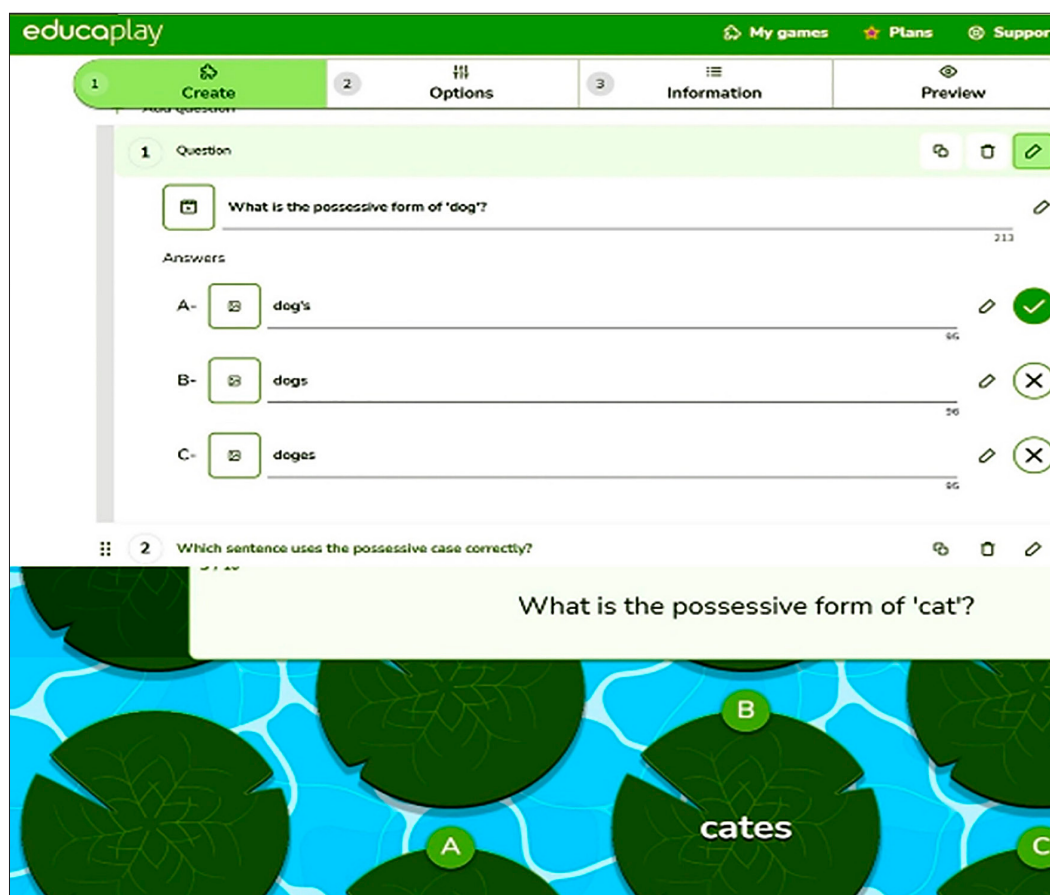


Рис. 4. Задание для закрепления темы «Притяжательный падеж существительных»
Источник: составлено авторами на основе платформы Educaplay.com

Для закрепления лексики, связанной с цветообозначениями в английском языке, обучающимся было предложено задание в виде кроссворда, разработанное с использованием нейросети Aspose.ai. Нейросеть позволяет вводить тему урока, возрастную группу обучающихся, предлагает слова и определения, которые могут корректироваться и анализироваться учителем. Разработанный кроссворд был интегрирован в учебный процесс в качестве парной работы. Задание, представленное на рисунке 3, развивает лексические

умения по теме «Цвета», умения чтения и орфографии.

Как известно, развитие лексических умений связано с развитием грамматических умений обучающихся. Платформа Educaplay.com предоставляет различные шаблоны интерактивных игр для закрепления грамматических тем: «Yes or No», «Froggy Jumps», «Memory Game» и «Matching Pairs», которые мотивируют школьников к изучению иностранного языка. Завершив игру, обучающиеся могут увидеть свои результаты и сравнить их с достижениями своих одноклассников.

The image shows a character creation interface for Character.AI. At the top left is a circular avatar of a young man with brown hair, wearing a green shirt, sitting at a desk with a laptop. Below the avatar is the label 'Имя персонажа' (Character Name) with the text 'Sam Smith' in a light blue box. Below that is the label 'Слоган' (Slogan) with the text 'Let's chat and be friends!' in a light blue box. Below that is the label 'Описание' (Description) with a text area containing the bio: 'Hi! My name is Sam. I am 12 years old. I am fond of computer games. I also like shopping. I like to communicate with people from different countries. I believe that everyone can tell many unique and interesting stories.' Below the bio is the label 'Приветствие' (Greeting) with a text area containing the greeting: 'Hi! What would you like to talk about?'. At the bottom is a checkbox labeled 'Разрешить динамические приветствия' (Allow dynamic greetings) which is checked. Below the checkbox is a 'Голос' (Voice) section with the name 'Sam'.

Рис. 5. Процесс создания персонажа
Источник: составлено авторами на основе нейросети Character.AI

Виртуальный помощник Ray сгенерировал вопросы по введенному запросу по теме «Притяжательный падеж существительных»:

- What is the possessive form of 'dog'?
- How do you make 'children' possessive?
- What is the possessive form of 'cat'?
- Which is the correct possessive form for 'the car of John'?
- How do you write 'the toys of the kids' in possessive form?

Контент был проверен и доработан учителем для полного соответствия учебным целям. После этого была разработана интерактивная игра по обучению грамматике, изображенная на рисунке 4, которая позволила сделать учебный процесс не только эффективным, но и увлекательным.

С целью развития речевых и языковых умений обучающихся 5-х классов в ходе экспериментальной работы применялась нейросеть Character.AI. Учителем был создан виртуальный персонаж, представленный на рисунке 5, способный отвечать на вопросы обучающихся в рамках темы «Going Shopping». Процесс создания персонажа прост и не занял много времени. Было придумано имя, слоган, описание, подобрана подходящая голосовая озвучка. Так был создан персонаж Сэм (Sam), который любит ходить по магазинам, знает много о разных товарах и может рассказать о своих любимых местах для покупок.

Ниже представлены вопросы, заданные обучающимися экспериментальной группы их виртуальному другу:

1) Favorite shop: Sam, what is your favorite shop?

2) Shops in town: What shops are there in our town?

3) Yesterday's shopping: What did you buy yesterday? Where did you buy it?

4) Best Buy: What was your best buy?

Собрав необходимую информацию, обучающиеся получили домашнее задание: рассказать о любимом магазине Сэма, о магазинах, которые есть в его городе, о том, что Сэм купил вчера в магазине.

Для разработки задания, рассчитанного на развитие умений чтения, была использована нейросеть DeepSeek. Для достижения оптимальных результатов при работе с данной нейросетью рекомендуется формулировать максимально детализированные и точные запросы. Учителем был сформулирован следующий запрос: «Ты – учитель английского языка, работающий с учениками 5-го класса. Разработай комплекс заданий на основе предложенного текста, нацеленных на развитие умений чтения. Сгенерируй 5 различных вариантов упражнений на английском языке». Обучающимся были предложены отобранные учителем в ходе анализа разработанные нейросетью задания к тексту о подростке Питере Паркере из учебника английского языка:

True or False? (Circle T for True, F for False).

(1) Peter lives with his parents (T / F).

(2) Mary Jane is Peter's best friend (T / F).

(3) Peter got his powers from a cat (T / F).

(4) Spider-Man's enemy is called Green Goblin (T / F).

(5) Peter is very loud and outgoing (T / F).

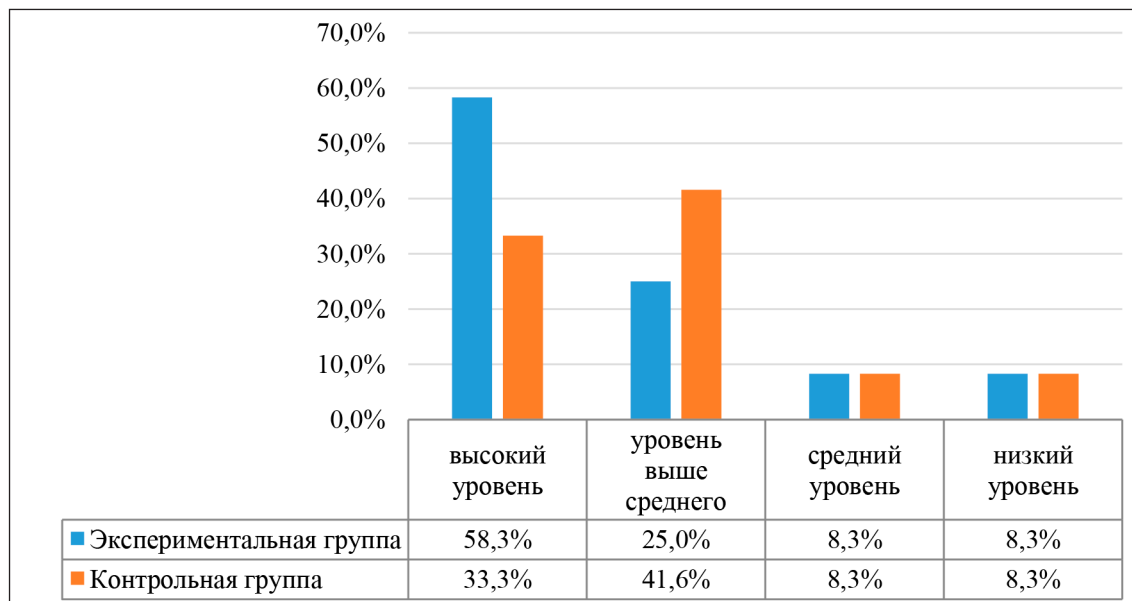


Рис. 6. Результаты итогового тестирования
Источник: составлено авторами

В экспериментальной группе, состоящей из 12 обучающихся, были получены следующие результаты:

- 1) высокий уровень владения лексическими умениями, умениями чтения и письма продемонстрировали 7 обучающихся (58,3%);
- 2) уровень выше среднего зафиксирован у 3 обучающихся (25%);
- 3) средний уровень зафиксирован у 1 обучающегося (8,3%);
- 4) не справился с тестом, продемонстрировав низкий уровень, 1 обучающийся (8,3%).

В контрольной группе, состоящей также из 12 обучающихся, результаты распределились следующим образом:

- 1) высокий уровень показали 5 обучающихся (33,3%);
- 2) уровень выше среднего зафиксирован у 3 обучающихся (41,6%);
- 3) средний уровень зафиксирован у 1 обучающегося (8,3%);
- 4) не справился с тестом, продемонстрировав низкий уровень, 1 обучающийся (8,3%).

На рисунке 6 представлены сравнительные результаты итогового тестирования в контрольной и экспериментальной группах.

Заключение

Проведенное исследование позволило определить возможности использования искусственного интеллекта при обучении различным аспектам иностранного языка. Для достижения более значимых результатов от внедрения заданий, разработанных на основе нейросетей, учителю необходимо анализировать и контролировать процесс их создания, учитывать цели, задачи, содержание обучения иностранному языку, возрастные особенности обучающихся.

Исследования, связанные с интеграцией нейросетей в процесс обучения иностранному языку, представляются перспективными в таких направлениях, как организация самостоятельной работы по иностранному языку, дополнительное иноязычное образование, а также углубленное обучение отдельным видам речевой деятельности.

Список литературы

1. Junaidi J., Hamuddin B., Julita K., Rahman F., Derin T. Artificial Intelligence in EFL Context: Rising Students' Speaking Performance with Lyra Virtual Assistance // *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. № 29 (05). P. 6735-6741. URL: <http://serse.org/journals/index.php/IJAST/article/view/17726> (дата обращения: 14.04.2025).
2. Сысоев П.В., Филатов Е.М. Чат-боты в обучении иностранному языку: преимущества и спорные вопросы // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки*. 2023. Т. 28. № 1. С. 66–72. DOI: 10.20310/1810-0201-2023-28-1-66-72.
3. Елтанская Е.А., Аржановская А.В. Технологии применения искусственного интеллекта в обучении иностранному языку // *Мир науки, культуры, образования*. 2024. № 1 (104). С. 43–46. DOI: 10.24412/1991-5497-2024-1104-43-46.
4. Кравцова А.Г. CHATGPT-3: перспективы использования в обучении иностранному языку // *Мир науки, культуры, образования*. 2023. № 3 (100). С. 33–35. DOI: 10.24412/1991-5497-2023-3100-33-35.
5. Шобонов Н.А., Булаева М.Н., Зиновьева С.А. Искусственный интеллект в образовании // *Проблемы современного педагогического образования*. 2023. № 79-4. С. 288–290. EDN: IPRJAG.
6. Шефиев Э.Ш., Исаева Т.Е. Использование искусственного интеллекта в образовательном процессе высших учебных заведений (на примере обучения иностранным языкам) // *Общество: социология, психология, педагогика*. 2020. № 10. С. 84–89. DOI: 10.24158/spp.2020.10.15.
7. Амиров Р.А., Билалова У.М. Перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта в сфере высшего образования // *Управленческое консультирование*. 2020. № 3 (135). С. 80–88. DOI: 10.22394/1726-1139-2020-3-80-88.
8. Черкасова Е.А. Применение искусственного интеллекта в обучении английскому языку в неязыковом вузе: анализ чата GPT в контексте оценки письменных работ // *Бизнес. Образование. Право*. 2023. № 4 (65). С. 437–442. DOI: 10.25683/VOLBI.2023.65.837.
9. Авраменко А.П., Ахмедова А.С., Буланова Е.Р. Технология чат-ботов как средства формирования иноязычной грамматической компетенции при самостоятельном обучении // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки*. 2023. Т. 28. № 2. С. 386–394. URL: <https://elibrary.ru/abfjqr> (дата обращения: 14.04.2025). DOI: 10.20310/1810-0201-2023-28-2-386-394.
10. Лавриненко И.Ю. Использование чат-ботов GPT в процессе обучения английскому языку в неязыковом вузе: теоретический аспект // *Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий*. 2023. Т. 12. № 2. С. 18–25. URL: <https://sano.elpub.ru/jour/article/view/549> (дата обращения: 14.04.2025). DOI: 10.24412/2225-8264-2023-2-18-25.
11. Ковальчук С.В., Тараненко И.А., Устинова М.Б. Применение искусственного интеллекта для обучения иностранному языку в вузе // *Современные проблемы науки и образования*. 2023. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33000> (дата обращения: 14.04.2025). DOI: 10.17513/spno.33000.
12. Евстигнеев М.Н. Принципы обучения иностранному языку на основе технологий искусственного интеллекта // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки*. 2024. Т. 29. № 2. С. 309–323. URL: <https://vestsutm.elpub.ru/jour/article/view/1078> (дата обращения: 14.04.2025). DOI: 10.20310/1810-0201-2024-29-2-309-323.
13. Лазутова Л.А. Развитие коммуникативных умений обучающихся 10-х классов на уроке иностранного языка с использованием российских цифровых ресурсов «ЯКласс» и «УДОБА» // *Современные наукоемкие технологии*. 2024. № 5. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40022> (дата обращения: 15.04.2025). DOI: 10.17513/snt.40022.
14. Проценко С.И., Сафонова Л.А. Формирование готовности будущих педагогов к использованию электронных образовательных ресурсов в профессиональной деятельности // *Гуманитарные науки и образование*. 2021. № 2. С. 86–92. DOI: 10.51609/2079-3499_2021_12_02_83.
15. Кувшинова Е.Е. Применение искусственного интеллекта при обучении иностранному языку // *Гуманитарный юга России*. 2024. Т. 13. № 2 (66). С. 75–84. DOI: 10.18522/2227-8656.2024.2.7. EDN: BDDVXH.

УДК 378.1:37.01

DOI 10.17513/snt.40412

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ БИОЛОГИИ НА ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Мирнова М.Н.

*ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: mnmirnova@sfnu.ru*

Актуальность настоящего исследования заключается в возрастающей потребности школ в учителях биологии новой формации, готовых работать в условиях цифровой образовательной среды. Цель исследования – проверка эффективности методической подготовки будущих педагогов-биологов на педагогической практике в условиях цифровой образовательной среды. В исследовании применялись методы анализа и синтеза, систематизации и сравнения, логического анализа, а также проведен онлайн-опрос будущих педагогов по формированию методических компетенций в цифровой образовательной среде Южного федерального университета. Формирование методических компетенций в условиях цифровой образовательной среды представлено комплексным процессом, направленным на подготовку специалистов для общеобразовательных учреждений, способных эффективно использовать современные образовательные технологии и цифровые ресурсы. Проведена оценка сформированности методических компетенций на педагогической практике, анализ использования ресурсов для обеспечения качественного преподавания биологии. Оценка освоения методических компетенций заключалась в проверке трех блоков методических компетенций в сравнении двух испытуемых групп – биологов и педагогов: проектирование, моделирование и организация учебного процесса, оценка и рефлексия, использование ресурсов и самоанализ деятельности. Первая группа, педагоги, продемонстрировала более высокие результаты в проектировании учебного процесса и дифференцированном подходе, тогда как вторая группа, классические биологи, сталкивалась с большими трудностями и нуждалась в методической поддержке. Эффективность методической подготовки педагогов по сравнению с биологами подтверждается более высокими результатами в пользу педагогов в освоении методических компетенций проектирования учебного процесса, оценке знаний и использовании ресурсов цифровой образовательной среды. Выявлено, что педагоги-биологи показывают более высокую практическую подготовку и уверенность в овладении методическими компетенциями, в то время как классические биологи обладают сильными теоретическими знаниями, но сталкиваются с трудностями в практической реализации их на педагогической практике и адаптации к процессу обучения школьников.

Ключевые слова: цифровая образовательная среда, учитель биологии, педагоги, цифровые компетенции, цифровые ресурсы, педагогическая практика, методическая подготовка, методические компетенции

FORMATION OF METHODOLOGICAL COMPETENCES OF A FUTURE BIOLOGY TEACHER IN PEDAGOGICAL PRACTICE IN THE CONDITIONS OF A DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Mirnova M.N.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: mnmirnova@sfnu.ru

The relevance of this study lies in the growing need of schools for biology teachers of a new formation, ready to work in the digital educational environment. The purpose of the study is to test the effectiveness of methodological training of future biology teachers in pedagogical practice, in the digital educational environment. The study used the methods of analysis and synthesis, systematization and comparison, logical analysis, and conducted an online survey of future teachers on the formation of methodological competencies in the digital educational environment of the Southern Federal University. The formation of methodological competencies in the digital educational environment is presented as a complex process aimed at training specialists for general education institutions who can effectively use modern educational technologies and digital resources. An assessment of the formation of methodological competencies in pedagogical practice, an analysis of the use of resources to ensure high-quality teaching of biology was carried out. The assessment of the development of methodological competencies consisted in checking three blocks of methodological competencies in comparison of two test groups of biologists and teachers: design, modeling and organization of the educational process, assessment and reflection, use of resources and self-analysis of activities. The first group – teachers demonstrated higher results in designing the educational process and a differentiated approach, while the second group – classical biologists faced greater difficulties and needed methodological support. The effectiveness of methodological training of teachers compared to biologists is confirmed by higher results in favor of teachers in mastering methodological competencies in designing the educational process, assessing knowledge, and using the resources of the digital educational environment. It was revealed that biology teachers show higher practical training and confidence in mastering methodological competencies, while classical biologists have strong theoretical knowledge, but face difficulties in their practical implementation in pedagogical practice, and adaptation to the process of teaching schoolchildren.

Keywords: digital educational environment, biology teacher, teachers, digital competencies, pedagogical practice, digital resources, methodological training, methodological competencies

Введение

Актуальность настоящего исследования заключается в возрастающей потребности школ в учителях биологии новой формации, готовых работать в условиях цифровой образовательной среды. В эпоху цифровой трансформации образования, внедрения цифровых технологий, интерактивных симуляций и виртуальных биологических лабораторий важно обладать умениями интегрировать традиционные образовательные технологии и цифровые технологии и инструменты в обучение, что становится ключевым фактором успешного преподавания биологии будущими педагогами и формирования у обучающихся мотивации к предмету. Поиски путей успешной подготовки будущих педагогов всегда были первоочередными задачами, а в условиях цифровой образовательной среды педагогическая подготовка трансформировалась. В период цифровой трансформации образования, когда традиционные технологии уступают место инновационным технологиям, педагогическое образование претерпевает кардинальные изменения. Исследователи А.А. Михайлов и С.Ю. Ланина [1; 2] убеждены, что готовность студентов, будущих педагогов, эффективно использовать цифровые образовательные ресурсы является залогом высокой продуктивности их будущей профессиональной деятельности, открывая новые направления развития и самореализации в динамичном мире образования.

Цифровые технологии в обучении и профессиональной подготовке будущих учителей – студентов педагогического вуза, по мнению А.В. Тумалева, В.В. Сулимина, В.В. Шведова [3; 4], соответствуют требованиям современной системы образования и профессиональной педагогической квалификации. При этом отмечается характер ценностно-смысловой сферы студентов-педагогов, Н.О. Дементьева [5] видит решение проблемы через повышение мотивации учебной деятельности. С.В. Суматохин, Ж.Ш. Есмаханова считают необходимость формирования цифровых компетенций в смешанном формате [6].

Применение практико-ориентированного подхода в подготовке педагогов, по мнению Н.В. Бужинской, Д.М. Гребнева, Е.А. Кокшаровой, становится необходимым компонентом педагогической деятельности и заключается в повышении качества результатов освоения студентами образовательных программ, зависит от наличия опыта общения, взаимодействия студентов со всеми субъектами образовательного процесса, в том числе посредством цифровой образовательной среды [7].

При этом А.А. Ярулов вносит предложения по качественному совершенствованию процессов практико-ориентированной педагогики в высших учебных заведениях педагогического профиля [8]. Создается новая система подготовки педагогов с применением проектно-исследовательской деятельности (А.В. Теремов [9]). Поэтому в исследовании формирование методических компетенций будущего учителя биологии на педагогической практике в условиях цифровой образовательной среды, считаем ключевым аспектом подготовки квалифицированных педагогов, способных эффективно адаптироваться к быстро меняющимся реалиям современного образования.

В поисках путей цифровой трансформации образования исследователи Н.В. Бусарова [10] и М.В. Кузьменко [11] сосредотачивают внимание на реализации дистанционного обучения и применении онлайн-платформ в школьной среде. На фоне происходящих изменений в подготовке педагогов С.И. Гильманшина, В.А. Миннахметова и К.А. Гордеева [12] подчеркивают непреходящую важность формирования общепрофессиональных компетенций. В свою очередь, С.Д. Старыгина, Н.К. Нуриев и Е.Н. Кролевецкая [13; 14] акцентируют внимание на развитии профессиональных методических компетенций в цифровой образовательной среде.

В свете вышеизложенного педагогическая практика, органично интегрированная в цифровую образовательную среду партнеров-работодателей, открывает широкие возможности для моделирования образовательного процесса, выстраивания современных уроков биологии и увлекательных внеурочных занятий, что находит подтверждение в исследованиях М.Н. Мирновой [15; 16]. Тщательная отработка навыков проектирования уроков биологии с применением интерактивных ресурсов, предоставляемых цифровыми образовательными средами как партнеров-работодателей, так и вуза, позволяет эффективно использовать эти ресурсы и значительно повысить качество методической подготовки педагога-биолога, адаптируя его к реалиям современной школы и новейшим методическим подходам.

Цифровая образовательная среда учебных заведений позволяет использовать широкий арсенал цифровых инструментов: от онлайн-платформ и виртуальных лабораторий до электронных журналов, интерактивных симуляций и мультимедийных материалов, что убедительно доказывается исследованиями О.Л. Shepelyuk [17]. Умелое применение этих инструментов позволяет студентам создавать не просто уроки

биологии, а путешествия в мир знаний, пробуждающие интерес и стимулирующие познавательную активность. Таким образом, формируется возможность для реализации практико-ориентированной методической подготовки будущего педагога, готового к будущей профессиональной деятельности в современной школе.

Цель исследования – проверить эффективность методической подготовки студентов-биологов на педагогической практике в условиях цифровой образовательной среды.

Материалы и методы исследования

В исследовании применялись методы анализа и синтеза, систематизации и сравнения, логического анализа, а также проведен онлайн-опрос студентов по формированию методических компетенций в цифровой образовательной среде. Обработка данных опроса проводилась с использованием Google Docs, Microsoft Excel. Исследование проводилось в период с сентября 2024 г. по апрель 2025 г. в период прохождения педагогической практики студентами-биологами (25 чел.) и студентами-педагогами четвертого курса (25 чел.) Южного федерального университета, Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского.

Результаты исследования и их обсуждение

В подготовку педагогов включаются все направления подготовки – как студенты классического направления подготовки, так и педагогического. Разница заключается в объеме и структуре содержания методических дисциплин и практик в пользу педагогов, разработанной концепции методической подготовки с выстроенной траекторией развития методической компетентности будущего учителя биологии, выстроенных уровней и этапов формирования методической компетентности студентов педагогов.

Студенты-биологи получают методические знания в пределах факультативной дисциплины методики преподавания биологии на третьем курсе и педагогической практики на четвертом курсе, на первых курсах изучают педагогику и психологию, в данный период усиливаются предметные и исследовательские компетенции. Педагоги-биологи обладают более содержательной психолого-педагогической подготовкой с разнообразием практик и широким спектром методических компетенций, ориентированной на будущую педагогическую деятельность. Траектории развития методической подготовки разные, в связи с разной направленностью образовательных программ подготовки

и целью подготовки (биолог-исследователь и педагог). В исследовании стояла задача понять, готовы ли студенты классической и педагогической подготовки биологов к педагогической деятельности в образовательных учреждениях, как методические компетенции осваиваются и с какими проблемами они сталкиваются на педагогической практике.

Южный федеральный университет предоставляет уникальную площадку для изучения и совершенствования методики предметной подготовки будущего педагога-биолога, объединяя студентов. В практику включены образовательные учреждения Ростова-на-Дону и центр дистанционного обучения Ростовской санаторной школы-интерната № 28, образовательные учреждения дополнительного образования школьников.

В рамках педагогической практики в условиях цифровой образовательной среды будущие педагоги-биологи осваивают методические компетенции, моделируют уроки биологии в разных формах, как в онлайн-формате, так и традиционно, очно с использованием ресурсов цифровой образовательной среды школы, создают видеоуроки и организуют дистанционное обучение. Они учатся применять цифровые инструменты для оценки знаний и мониторинга достижений обучающихся, а также для организации совместной работы и коммуникации с ними.

Особое внимание уделяется развитию критического мышления педагога и умению анализировать эффективность используемых традиционных и цифровых инструментов. Будущие педагоги должны быть способны оценивать педагогический потенциал ресурсов, предоставленных для подготовки к урокам, адаптировать их к конкретным образовательным задачам и разрабатывать собственные материалы (как в традиционном, так и цифровом формате), соответствующие требованиям учебной программы и потребностям обучающихся.

Таким образом, формирование методических компетенций будущего педагога-биолога в условиях предметной цифровой образовательной среды на педагогической практике представляет собой комплексный процесс, направленный на подготовку специалистов, способных эффективно использовать современные образовательные технологии в разных форматах, направленных на повышение качества обучения и развития интереса к биологии школьников. Центральным и главным в цифровой предметной образовательной среде, предназначенной для подготовки будущего пе-

дагога, является модуль «Методика обучения биологии», объединяющий содержание методической подготовки, выстраивается траектория развития методической компетентности в процессе обучения в вузе, выстраиваются этапы и уровни освоения методических компетенций. Эта предметная среда подготовки будущего педагога становится важным связующим звеном, в ее содержание включены образовательные программы методических дисциплин и практик с ресурсным обеспечением и оценочными средствами.

Траектория выстраивания методических компетенций в процессе их изучения строится с усложнением и постепенным их развитием. Создан методический кабинет биологии как важный ресурс предметных и методических компетенций и изучение опыта инновационной педагогической деятельности студентов. Сформирован каталог образовательных ресурсов вуза и школ, дающий возможность студенту расширить свои возможности в использовании ресурсов и получении нужной информации при подготовке к педагогической деятельности.

Эффективность реализации методической подготовки студентов на педагогической практике требует создания поддерживающей образовательной среды, включающей в себя как теоретическую подготовку, так и сопровождение методистом вуза и школьным коллективом. Для успешного формирования методических компетенций в области цифровых технологий необходимо осуществить практическую и теоретическую подготовку до начала педагогической практики и в период ее проведения. С этой целью на самой практике выделяются часы на практическую подготовку студентов на базе образовательных учреждений. В этом случае включается активно методическое объединение учителей биологии, каждому студенту назначается школьный наставник, сопровождающий его весь период практики.

Кроме того, педагогическая практика в условиях цифровой образовательной среды способствует развитию у педагогов навыков работы в команде и организации проектной и исследовательской деятельности. Они учатся сотрудничать с другими педагогами-предметниками, методистами и специалистами в области информационных технологий организовывать интеграцию и осуществлять межпредметные связи, а также вовлекать школьников в совместные проекты с использованием цифровых инструментов (например, создавать веб-квесты, виртуальные экскурсии, интерактивные викторины и виртуальные путешествия).

В процессе педагогической практики в школе будущие учителя биологии осваивают целый спектр методических компетенций, необходимых для эффективного преподавания биологии. Важнейшей является компетенция в планировании учебного процесса. Студенты учатся разрабатывать тематические планы, учитывая требования образовательных стандартов, возрастные особенности обучающихся и специфику учебного материала, используют платформу для создания рабочей программы учителя. Они овладевают навыками формулировки целей и задач разных типов уроков биологии, подбора адекватных методов и приемов обучения.

Не менее значима методическая компетенция в организации учебной деятельности. Будущие учителя биологии учатся эффективно управлять временем на уроке, создавать благоприятную образовательную среду, мотивировать обучающихся к активному участию в образовательном процессе. Они осваивают различные формы работы: фронтальную, групповую, индивидуальную, а также методы активизации познавательной деятельности, такие как проблемное обучение, исследовательская работа и проектная деятельность со школьниками.

Важной методической компетенцией является умение использовать разнообразные образовательные ресурсы. Будущие учителя учатся работать с учебниками, дидактическими материалами, электронными образовательными ресурсами, а также создавать собственные наглядные пособия и раздаточные материалы. Они осваивают экспериментально-методические навыки организации работы с лабораторным оборудованием и проведения практических работ.

Существенное значение имеет методическая компетенция в оценивании результатов обучения. Будущие учителя биологии используют готовые критерии и учатся разрабатывать критерии оценки знаний, умений и навыков обучающихся, использовать различные формы контроля: устный опрос, письменные работы, тестовые задания, проектные работы. При этом используют как традиционные формы оценки, так и цифровые. Они овладевают навыками анализа результатов обучения и корректировки учебного процесса на основе полученных, учатся использовать ресурсы цифровой образовательной среды школы (электронный журнал, электронные таблицы мониторинга достижений обучающихся, школьный сайт).

Важным в условиях работы в цифровой образовательной среде является формирование цифровых методических компетенций – комплекс знаний, умений и навыков,

позволяющих педагогу эффективно использовать цифровые инструменты и интегрировать цифровые технологии в образовательный процесс для достижения оптимальных результатов обучения школьников биологии. Это не просто владение компьютером или интерактивной доской, а глубокое понимание возможностей цифровых инструментов и их адаптация к конкретным педагогическим задачам.

Важным аспектом является способность выбирать и адаптировать цифровые ресурсы и инструменты в соответствии с образовательными целями, потребностями обучающихся и особенностями учебного предмета биологии. Студент осваивает ресурсы цифровой образовательной среды, учится оценивать их качество, определять их соответствие образовательным стандартам и создавать собственные цифровые образовательные материалы. В этом ему помогают методист вуза и курирующий учитель биологии в школе.

Цифровые методические компетенции также предполагают умение организовывать интерактивные уроки биологии с использованием различных цифровых платформ, онлайн-сервисов и мультимедийных средств. Это включает в себя создание увлекательных и мотивирующих интерактивных упражнений и заданий, организацию совместной работы обучающихся в онлайн-среде и эффективное взаимодействие с ними при помощи цифровых каналов коммуникации (Skype, Яндекс-телемост, Ватсап, ВК, электронная почта и др.).

Вопрос о готовности студентов к педагогической деятельности всегда волновал классические вузы. Поднимается вопрос и сейчас, в качестве дополнительной образовательной подготовки для студентов классического направления подготовки. И как факт в вузе рассматривается такая методическая подготовка в качестве факультатива, который выбирают не все студенты. Значит, не все освоят методические компетенции, и пойдут работать педагогами в школы. Среди студентов-биологов выявлены студенты, занимающиеся репетиторством со школьниками (10%), станут ли они учителями, это вопрос, зато работают в научных лабораториях (55%). А вот студенты-педагоги трудоустраиваются начиная с четвертого (30%), пятого (50%) курсов учителями биологии в школах, репетиторами в онлайн-школах (10%), в педагогической магистратуре трудоустроены 80% – в сфере образования, от учителей биологии школ до методистов отделов образования и образовательных организаций. Однако это хороший шанс расширить

свою область профессиональной деятельности и возможности трудоустройства.

Оценка освоения методических компетенций на педагогической практике заключалась в проверке трех блоков методических компетенций в сравнении студентов-биологов и студентов-педагогов: проектирование, моделирование и организация учебного процесса, оценка и рефлексия, использование ресурсов и самоанализ деятельности, выявление недостатков в практических навыках.

Оценка первого блока компетенций осуществлялась через проверку наличия уверенности в составлении календарно-тематического плана и плана конспекта урока. Так, большая часть педагогов (45,8%) демонстрирует уверенность в составлении планов, такая же часть биологов (45,8%) нуждается в помощи. Значительная группа (8,3%) не смогла справиться самостоятельно. Это указывает на необходимость дополнительной поддержки и обучения в области планирования учебного процесса. При этом 9,5% не смогли составить план самостоятельно, что отражает потенциальную разницу в психолого-педагогической и методической подготовке и наличии собственного опыта. Следовательно, необходимы дополнительные инструменты для повышения методической и педагогической компетентности. При выборе приемов и методов обучения большая часть педагогов (37,5%) не испытывает трудностей, но значительная часть (50%) сталкивается с небольшими затруднениями. Незначительная часть (4,2%) испытывает серьезные сложности в подборе методов и средств, адаптированных к возрасту и уровню подготовки школьников. Требуется работа по совершенствованию методических компетенций. Наблюдаются недостаточная уверенность в составлении планов уроков биологии: у обеих групп наблюдается значительная потребность в методической поддержке и консультации. У классических биологов более выраженные трудности в выборе методов обучения, чем у педагогов. И как факт наблюдаем существующий разрыв в методической подготовке между группами. Следовательно, необходимо более детальное изучение разницы в профилях содержания психолого-педагогических и методических дисциплин. Возникает необходимость поддержки обеих групп студентов через проведение консультаций и усиление методической подготовки, направленные на решение выявленных проблем.

Классические биологи (59,3%) испытывают трудности (от незначительных до существенных). Это существенно боль-

ше, чем у педагогов, и указывает на необходимость углубленной методической подготовки. Анализ данных показывает разницу в восприятии дифференцированного подхода педагогами и биологами. Большинство педагогов (82,8%) отметили, что способны адаптировать учебный материал к потребностям обучающихся, либо с незначительными трудностями, либо легко. Незначительная часть педагогов (8,3%) не применяла дифференцированный подход, что свидетельствует о необходимости работы по его популяризации и внедрению. Еще 8,3% пытались адаптировать, но не всегда успешно. Это указывает на необходимость дополнительной поддержки и обучения в области дифференцированного обучения для этой категории студентов.

Более сложная картина у биологов: большая часть студентов (76,1%) отметили адаптацию, в большей степени с трудностями, чем у педагогов. Более высокий процент успехов: 19% отметили «отлично», что указывает на наличие успешных практик в этой группе. Следует обратить внимание на развитие данной компетенции поскольку 4,8% не применяли дифференцированный подход, 19% отметили «удовлетворительно с попытками», что указывает на необходимость совершенствования навыков адаптации и предоставления дополнительной методической поддержки для более успешной реализации дифференцированного подхода.

Обе исследуемые группы студентов педагогов и биологов демонстрируют понимание и готовность использовать дифференцированный подход. Однако педагоги проявили более высокую степень освоения и применения этого подхода и с меньшими трудностями. Классические биологи отметили хорошие результаты, но с более заметными трудностями и, соответственно, нуждаются в большей методической поддержке для совершенствования навыков адаптации. Необходимо более подробно исследовать причины, по которым не все педагоги и биологи применяют дифференцированный подход, и определить пути решения этих проблем.

Второй блок методических компетенций «Оценка и рефлексия» оценивал навыки разработки контрольно-измерительных материалов (тесты, контрольные работы, практические задания). Педагоги проявили самостоятельность и большую уверенность в составлении (45,8%) в отличие от классических биологов (38,1%), с небольшой корректировкой и помощью со стороны учителя биологии справились 37,5% педагогов и 42,9% биологов, и не совсем уверенно

справились 8,3% педагогов, а биологов – 14,5%. При этом не смогли разработать самостоятельно материалы 4,3% педагогов, 8,3% биологов. Наблюдаются интересные результаты: педагоги продемонстрировали более высокую самостоятельность в разработке контрольно-измерительных материалов. Разница, хотя и не колоссальная, указывает, однако, на потенциальное превосходство педагогов в данном аспекте. Результаты свидетельствуют о том, что педагоги обладают потенциально более высоким уровнем самостоятельности в разработке контрольно-измерительных материалов. Однако для повышения уровня уверенности и самостоятельности в их создании требуются дополнительные методические рекомендации и, возможно, более глубокое изучение соответствующих методик. Обе исследуемые группы нуждаются в дополнительной поддержке в этом аспекте, особенно при корректировке и получении методической помощи.

Не вызвало затруднений использование критериев оценивания у 45,8% педагогов и 19% биологов; не совсем уверенных педагогов и биологов по 8,3%; а вот совершенно не уверенных педагогов 4,3%, биологов 8,8%. Анализируя данные о затруднениях педагогов и биологов при использовании критериев оценивания, заметили, что значительная часть педагогов (45,8%) успешно справляется с поставленной задачей. Однако существенная доля (4,3% педагогов и 8,8% биологов) испытывает значительные затруднения, что свидетельствует о потенциальной потребности в дополнительной методической поддержке и обучении и помощи со стороны методиста. Биологи демонстрируют существенно меньшую уверенность в использовании критериев, чем педагоги. Следовательно, необходимо выяснить, какие именно критерии вызывают затруднения и в чем конкретно нуждаются педагоги и биологи. Это поможет более эффективно разрабатывать содержание рабочих программ дисциплин, выстраивать систему методической подготовки и оказать методическую поддержку в процессе обучения.

В третьем блоке методических компетенций проверялось использование ресурсов цифровой образовательной среды, при этом биологи были теоретически сильнее и использовали содержание лекций и методических пособий преподавателей вуза, материалы при подготовке к семинарам, цифровыми ресурсами не пользовались, в отличие от педагогов, однако их недостаток заключался в отсутствии учета возрастных особенностей обучающихся

и сложности подачи материала и терминологии, отсюда возникало непонимание школьниками учебного материала. Чаще биологи не следовали структуре урока и не соблюдали время, иногда урок превращался в лекцию, на это обратили внимание учителя биологии в школе. Педагоги свободно пользовались видеоресурсами для изучения сложных тем, использовали оборудование школ и цифровые образовательные ресурсы. Наиболее полезными биологи считают оснащение кабинета биологии пособиями и оборудованием (14,3 %) и помощь учителя-наставника (14,7 %). А вот педагоги отметили оборудование кабинета биологии (16,7 %), помощь и ресурсы учителя биологии (12,5 %), использование цифровых образовательных ресурсов (25,7 %).

Рассмотрим, что ценят педагоги при подготовке к уроку: оборудование кабинетов (46,7 %), необходимость на практических занятиях использовать демонстрационные эксперименты, реальные и виртуальные. Педагоги видят прямую связь между удобством оснащения кабинета биологии, качеством процесса обучения и системой оценивания. Ценят возможность обсуждения опыта, обмена практиками, использование современных образовательных технологий и ресурсов цифровой образовательной среды.

В отличие от педагогов, биологи больше используют готовые пособия и оборудование кабинета биологии (14,3 %), лекции преподавателей вуза (25 %). Это можно объяснить спецификой самого предмета биологии, где визуализация, практические работы, эксперименты и демонстрация материалов играют важную роль в формировании представлений об изучаемом объекте. Возможно, именно в биологии особенно важно наличие наглядных пособий и специализированного оборудования для проведения опытов и экспериментов и успешного применения критериев оценивания. Помощью учителя-наставника пользовались 14,7 %. Вероятно, студентам-биологам важно освоить подготовку к уроку под руководством опытного учителя-наставника или методиста.

Разница в выборе обусловлена спецификой школьного предмета биологии, в котором больше практических и лабораторных работ и опытов, много визуализации и проведения демонстраций, что требует определенного типа ресурсов. Биологи больше используют реальный эксперимент и опыты. Педагоги, работающие с более широким кругом ресурсов, могут чаще опираться на общий опыт работы с цифровыми технологиями.

Разные стили обучения наблюдаются у студентов, которые легко используют ресурсы цифровой образовательной среды и ими пользуются в процессе обучения в вузе и на всех практиках. Оценка освоения методических компетенций среди студентов-педагогов и студентов-биологов выявила значительные различия в их уверенности и уровне самостоятельности в планировании, конструировании планов уроков биологии, оценке знаний и использовании ресурсов цифровой образовательной среды вуза и ресурсов партнеров.

Педагоги продемонстрировали более высокие результаты в проектировании учебного процесса и дифференцированном подходе, тогда как классические биологи сталкивались с большими трудностями и нуждались в методической поддержке. В разработке контрольно-измерительных материалов также наблюдалось преимущество педагогов, что указывает на их потенциальное превосходство в этой области. В целом результаты подчеркивают необходимость дополнительной психолого-педагогической и методической подготовки для классических биологов, особенно связанной с адаптацией учебного материала и эффективным использованием образовательных технологий и ресурсов цифровой образовательной среды.

Заключение

Эффективность методической подготовки студентов-педагогов по сравнению с классическими биологами на педагогической практике в условиях цифровой образовательной среды подтверждается более высокими результатами педагогов в освоении методических компетенций в проектировании учебного процесса, оценке знаний и использовании ресурсов цифровой образовательной среды. Учебные траектории профессионального развития, выстроенные для педагогов, способствуют лучшему и более глубокому освоению методических компетенций, что позволяет им уверенно применять дифференцированный подход и разрабатывать контрольно-измерительные материалы, выбирать методы, приемы, средства и технологии обучения. В то время как классические биологи сталкиваются с большими трудностями в методике преподавания биологии, им необходима дополнительная методическая поддержка для улучшения их навыков: использовании ресурсов цифровой образовательной среды, адаптации содержания учебного предмета к потребностям и интересам школьников, с учетом их индивидуальных и возрастных особенностей.

В заключение важно отметить, что педагоги показывают более высокую практическую подготовку и уверенность в овладении методическими компетенциями, в то время как классические биологи обладают сильными теоретическими знаниями, но сталкиваются с трудностями в практической реализации их на практике и адаптации к процессу обучения школьников. Обе группы студентов требуют оказания им методической поддержки и помощи в использовании дополнительных ресурсов для повышения готовности к методической деятельности и эффективности их педагогической деятельности.

Список литературы

1. Михайлов А.А., Бурлакова Т.В., Бурлакова М.В., Малыгин А.Д. Совершенствование подготовки студентов – будущих педагогов к использованию электронных образовательных ресурсов в профессиональной деятельности // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2023. № 2 (70). С. 170–177. DOI: 10.52452/18115942_2023_2_170. EDN: DFCXUO.
2. Ланина С.Ю. Организация образовательного процесса при подготовки будущего учителя // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2023. № 1 (215). С. 271–274. DOI: 10.34835/issn.2308–1961.2023.01.p271-274. EDN: ZODQJL.
3. Тумалев А.В., Головкин А.А. Влияние цифровых технологий на качество профессиональной подготовки будущих учителей // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2023. № 207. С. 28–36. URL: https://lib.herzen.spb.ru/media/magazines/contents/1/207/3_izvestiya_n.207_tumalev.golovko.pdf (дата обращения: 15.04.2025). DOI: 10.33910/1992–6464-2023-207-28-36. EDN: ZXAJWL.
4. Сулимин В.В., Шведов В.В. Возможности применения цифровых технологий в инклюзивном образовании школ города Екатеринбурга // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 3. С. 132–138. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40335> (дата обращения: 22.04.2025). DOI: 10.17513/snt.40335.
5. Дементьева Н.О., Прошутинский Ю.С. Мотивация учебной деятельности и ценностные ориентации обучающихся по педагогическим направлениям // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. 2023. № 1 (63). С. 96–102. DOI: 10.46845/2071-5331-2023-1-63-96-102. EDN: EAQWTI.
6. Суматохин С.В., Есмаханова Ж.Ш. Цифровые компетенции будущих учителей биологии при смешанном обучении // Биология в школе. 2023. № 1. С. 46–49. DOI: 10.47639/0320-9660_2023_1_46. EDN: XTBDRR.
7. Бужинская Н.В., Гребнева Д.М., Кокшарова Е.А. Практико-ориентированный подход к профессиональной подготовке будущих учителей в условиях цифровой трансформации образования // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32762> (дата обращения: 16.04.2025). DOI: 10.17513/spno.32762.
8. Ярулов А.А. Практико-ориентированная подготовка будущих учителей в педагогическом вузе // Преподаватель XXI век. 2023. № 2–1. С. 22–35. URL: <http://prepodavatel-xxi.ru/sites/default/files/2235.pdf> (дата обращения: 15.04.2025). DOI: 10.31862/2073–9613-2023-2-22-35.
9. Теремов А.В., Маландин В.В., Пятунин С.К., Вергун А.А., Смирнова Т.А., Мосюров С.Е. Реализация индивидуальных образовательных траекторий студентов-биологов и химиков педагогического вуза, обеспечивающих готовность к научно-исследовательской работе со школьниками // Педагогическое образование и наука. 2024. № 1. С. 69–79. DOI: 10.56163/2072–2524-2024-1-69-79. EDN: SHFLHW.
10. Бусарова Н.В., Марина А.В. Использование онлайн-платформы CoreApp при изучении школьного курса биологии // Биология в школе. 2023. № 3. С. 17–24. DOI: 10.47639/0320-9660_2023_3_17. EDN: OMZPXV.
11. Кузьменко М.В. Подготовка будущих педагогов к реализации дистанционного обучения школьников // Открытое образование. 2023. Т. 27. № 1. С. 17–24. DOI: 10.21686/1818-4243-2023-1-4-17-24.
12. Гильманшина С.И., Миннахметова В.А., Гордеева К.А. Формирование у студентов – будущих учителей общепрофессиональной компетенции (ОПК-8) в цифровой среде // Казанский педагогический журнал. 2023. № 1 (156). С. 68–75. URL: <https://www.kpedj.ru/articles/article/2719/> (дата обращения: 15.04.2025). DOI: 10.51379/KPJ.2023.158.1.006.
13. Старыгина С.Д., Нуриев Н.К. Разработка теоретико-методологической цифровой платформы «Дидактика» // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 2. С. 169–178. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39541> (дата обращения: 22.04.2025). DOI: 10.17513/snt.39541.
14. Кролевецкая Е.Н. Полусубъектное взаимодействие как основа профессиональной подготовки будущих педагогов в вузе // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 12–2. С. 347–352. DOI: 10.17513/snt.39028.
15. Мирнова М.Н. Основные направления и перспективы практико-ориентированной методической подготовки учителя биологии в условиях трансформации педагогического образования // Мир университетской науки: культура, образование. 2023. № 9. С. 29–35. DOI: 10.18522/2658–6983-2023-9-29-35. EDN: HRWUFJ.
16. Мирнова М.Н., Разаханова В.П., Луганова С.Г., Мусинова Э.М. Новое содержание методической подготовки современного педагога в интересах устойчивого развития // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Психолого-педагогические науки. 2020. Т. 14. № 1. С. 89–93. DOI: 10.31161/1995–0659–2020-14-1-89-93.
17. Shepelyuk O.L. Chemistry web quest development for students of engineering specialties // Journal of Critical Reviews. 2020. Vol. 7, Is. 1. P. 496–498. DOI: 10.31838/jcr.07.01.98.

УДК 372.8

DOI 10.17513/snt.40413

ТИПЫ ЗАДАНИЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО РУССКОМУ ЯЗЫКУ И ЛИТЕРАТУРЕ: ИЗ ОПЫТА РАЗРАБОТКИ

Олесова А.П.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
Якутск, e-mail: olesovaantonina@mail.ru

Дистанционные олимпиады, проводимые с использованием интернет-технологий, получили широкое распространение в последнее время. В связи с этим обмен опытом по методическому сопровождению таких олимпиад является востребованным и позитивно скажется на совершенствовании практики проведения интеллектуальных соревнований. Цель исследования – представить опыт разработки олимпиадных заданий для республиканской дистанционной олимпиады школьников по русскому языку и литературе «Северное сияние», приуроченной к 90-летию высшего образования Якутии и 225-летию со дня рождения А.С. Пушкина. Материалом для анализа служит банк заданий этой олимпиады, основными методами исследования являются теоретический анализ и обобщение, аналитическое описание и классификация, статистический метод. В результате исследования определены ведущие принципы составления заданий для дистанционной олимпиады: учет возможностей используемой для ее проведения интернет-платформы (СДО Moodle), тематическое разнообразие заданий, их адекватная сложность, рациональная занимательность, ориентированность на перспективы олимпиадных испытаний более высокого уровня трудности. Установлены критерии классификации заданий, разработанных для дистанционной олимпиады: по формату тестовых заданий в системе Moodle, по предметной области и компонентам предметных компетенций, по характеру материала. В соответствии с этими критериями выделяются и характеризуются типы олимпиадных заданий, приводятся их примеры. В целом выполнение олимпиадных заданий потребовало от школьников как базовых знаний по русскому языку и литературе, так и филологического кругозора, навыков аналитического и логического мышления, смекалки.

Ключевые слова: русский язык и литература в школе, дистанционная олимпиада, типы олимпиадных заданий

Публикация подготовлена в рамках проведения научно-исследовательской работы по договору № 2024.255952 от 10.12.2024 между АУ РС (Я) «Дом дружбы народов им. А.Е. Кулаковского» и ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова».

TYPES OF TASKS IN THE DISTANCE OLYMPIAD IN RUSSIAN LANGUAGE AND LITERATURE: FROM THE EXPERIENCE OF DEVELOPMENT

Olesova A.P.

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov,
Yakutsk, e-mail: olesovaantonina@mail.ru

Distance Olympiads conducted using Internet technologies have become widespread in recent years. In this regard, the exchange of experience in methodological support of such Olympiads is in demand and will have a positive effect on improving the practice of holding intellectual competitions. The purpose of the study is to present the experience of developing Olympiad tasks for the Republican Distance Olympiad for schoolchildren in Russian language and literature “Northern Lights”, dedicated to the 90th anniversary of higher education in Yakutia and the 225th anniversary of the birth of A.S. Pushkin. The material for the analysis is the bank of tasks of this Olympiad, the main research methods are theoretical analysis and generalization, analytical description and classification, statistical method. The study identified the key principles for compiling assignments for the distance Olympiad: taking into account the capabilities of the Internet platform used to conduct it (Moodle LMS), thematic diversity of assignments, their adequate complexity, rational entertainment, focus on the prospects of Olympiad tests of a higher level of difficulty. The criteria for classifying assignments developed for the distance Olympiad were established: by the format of test assignments in the Moodle system, by subject area and components of subject competencies, by the nature of the material. In accordance with these criteria, the types of Olympiad assignments are identified and characterized, and their examples are given. In general, completing the Olympiad assignments required from schoolchildren both basic knowledge of the Russian language and literature, and a philological outlook, analytical and logical thinking skills, and ingenuity.

Keywords: Russian language and literature at school, distance learning Olympiad, types of Olympiad tasks

The publication was prepared as part of the research work under the agreement No. 2024.255952 dated 10.12.2024 between the House of Friendship of Peoples named after A.E. Kulakovskiy and the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

Введение

Современная система образования призвана всесторонне развивать личность, обеспечить условия, способствующие раскрытию всех ее способностей для дальнейшей реализации в профессиональной деятельности [1]. В ФГОС подчеркивается, что каждая личность с ее индивидуальными возможностями уникальна и образовательная среда школы должна содействовать их максимальному раскрытию. При этом особая роль отводится углубленному изучению отдельных учебных предметов и внеурочной деятельности, которые предоставляют возможность школьникам проявить свой интеллектуальный потенциал и развивать творческие способности (самостоятельно находить новые, творческие подходы к решению проблемы), необходимые для дальнейшего образования и в будущей работе. Акцентируется внимание на том, что программа формирования универсальных учебных действий должна отражать формирование навыка участия в олимпиадах [2].

Социальный заказ обуславливает интенсивную разработку теоретических и прикладных аспектов проблем, связанных с выявлением, развитием и поддержкой одаренных детей, с олимпиадным движением. Важнейшие для такой деятельности положения психологии изложены в «Рабочей концепции одаренности», созданной по предложению Министерства образования РФ группой ученых под руководством Д.Б. Богоявленской [3]. Вопросы филологической одаренности обучающихся, их сопровождения, роль олимпиад в этом процессе рассматриваются М.Б. Богус [4], Т.В. Хильченко [5] и др. Методические аспекты подготовки школьников к олимпиадам, составления и анализа олимпиадных заданий, в частности по русскому языку и литературе, освещаются в исследованиях И.Н. Добротиной [6], Т.Г. Кучиной [7], Д.А. Салимовой [8] и др. Особенности организации и проведения филологических олимпиад с использованием дистанционных образовательных технологий раскрываются в статьях А.В. Блохинской [9], Г.Е. Кедровой [10], А.Е. Родионовой [11] и др.

Олимпиада признается одной из эффективных массовых форм внеурочной деятельности, способствующей формированию познавательных потребностей личности, повышению интереса к изучению предмета. Исследователи также отмечают, что соревновательный характер олимпиады, возможность, участвуя в ней, продемонстрировать свой интеллектуальный уровень и получить дополнительные баллы за ин-

дивидуальные достижения, иметь преимущества при зачислении в вуз не только мотивируют на приобретение новых знаний, расширение кругозора, но и содействуют развитию у обучающихся социальных навыков, создавая условия для их взаимодействия и честной конкуренции [11].

Наблюдения специалистов и личный опыт автора в организации и проведении олимпиад разного уровня и формата позволяют утверждать, что процесс подготовки к таким мероприятиям и участия в них становится для обучающихся значительно интереснее при использовании инновационных методов и технологий, в частности интернет-технологий. В онлайн-олимпиадах привлекает возможность моментально узнать результаты выполнения заданий и сразу получить электронный сертификат, диплом, который можно самим распечатать. Бесспорным достоинством такого формата олимпиады является также автоматическая проверка ответов к заданиям системой тестирования, это значительно снижает нагрузку с эксперта и минимизирует субъективный фактор при определении рейтинга участников олимпиады [9].

Дистанционные олимпиады, проводимые с использованием интернет-технологий, получили широкое распространение в последнее время: их организуют школы, ссузы, вузы и другие учреждения, занимающиеся вопросами обучения и воспитания. В таких условиях обмен опытом по методическому сопровождению дистанционных олимпиад является востребованным и позитивно скажется на совершенствовании практики проведения интеллектуальных соревнований, работы по вовлечению школьников в олимпиадное движение, развитию их познавательных, творческих способностей.

Цель исследования – представить опыт разработки олимпиадных заданий для республиканской дистанционной олимпиады школьников по русскому языку и литературе «Северное сияние», приуроченной к 90-летию высшего образования Якутии и 225-летию со дня рождения А.С. Пушкина (далее – дистанционная олимпиада). В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи: а) определить основные принципы формирования заданий для дистанционной олимпиады; б) выделить критерии классификации заданий, разработанных для дистанционной олимпиады; в) охарактеризовать типы заданий дистанционной олимпиады, иллюстрируя конкретными примерами; г) изложить результаты количественного анализа выполнения школьниками заданий разных типов.

Материалы и методы исследования

Материалом для анализа служит банк олимпиадных заданий республиканской дистанционной олимпиады школьников по русскому языку и литературе «Северное сияние», приуроченной к 90-летию высшего образования Якутии и 225-летию со дня рождения А.С. Пушкина. Отбор материалов олимпиады для анализа основывается на стратифицированной случайной выборке, которая позволяет рассмотреть на конкретных примерах разные типы олимпиадных заданий и дать общее представление об их системе. При выстраивании классификации заданий, составленных для этой олимпиады, учитываются научно-методические подходы к типологии олимпиадных заданий, представленные в работах по проблемам организации и проведения, методического обеспечения олимпиад по русскому языку и литературе [6, 8, 12]. Основными методами исследования являются теоретический анализ и обобщение (при изучении нормативных документов, научных работ и педагогического опыта), аналитическое описание и классификация (при выделении и характеристике типов разработанных олимпиадных заданий), статистический метод (при представлении результатов выполнения школьниками олимпиадных заданий разных типов).

Результаты исследования и их обсуждение

Сегодня олимпиадное движение в Республике Саха (Якутия) получило новый импульс развития благодаря федеральному проекту «Успех каждого ребенка» национального проекта «Образование», который реализуется с 2019 г. В этом году была принята «Концепция системы выявления, поддержки и развития молодых талантов в Республике Саха (Якутия) на 2020–2024 годы», определившая приоритетные задачи по модернизации этой системы, среди которых указаны организация и проведение олимпиад, анализ и обобщение лучших практик работы с детьми, обмен опытом. Для координации работы был создан Региональный центр выявления и поддержки одаренных детей РС (Я) на базе Малой академии наук РС (Я) – регионального оператора по работе с одаренными детьми в области олимпиадного движения и научно-исследовательской и проектной деятельности школьников.

Системная работа по олимпиадам осуществляется Северо-Восточным федеральным университетом имени М.К. Аммосова. В проведении муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников преподаватели вуза участвуют в качестве со-

ставителей олимпиадных заданий и членов жюри. Университет является организатором Северо-Восточной олимпиады школьников (далее – СВОШ) по 62 профилям и предметам, из которых СВОШ по филологии (русский язык, литература) и СВОШ по родным языкам и литературе (45 профилей) входят в перечни олимпиад, утвержденные Министерством науки и высшего образования РФ и Министерством просвещения РФ.

С 2017 г. по инициативе филологического факультета СВФУ проводится республиканская дистанционная олимпиада школьников по русскому языку и литературе «Северное сияние». Она призвана создать условия для реализации интеллектуального потенциала обучающихся, стимулирования у них познавательного интереса к русскому языку и литературе, развития языковой, лингвистической, читательской, культуроведческой, информационно-коммуникационной компетенций, филологического кругозора; содействовать воспитанию уважения к русскому языку как государственному языку Российской Федерации и общероссийской ценности, форме выражения и хранения духовного богатства народа; выявить и поощрить школьников, проявляющих интерес к изучению русского языка и литературы.

В 2024 г., ознаменовавшемся 225-летием со дня рождения А.С. Пушкина и исторической датой – 90-летием высшего образования Якутии, этот образовательный проект был реализован в рамках государственной программы РС (Я) «Сохранение и развитие государственных и официальных языков в Республике Саха (Якутия)» при поддержке Министерства по внешним связям и делам народов РС (Я). Организатором республиканской дистанционной олимпиады школьников по русскому языку и литературе «Северное сияние» выступил филологический факультет СВФУ, соорганизатором – АУ РС (Я) «Дом дружбы народов им. А.Е. Кулаковского».

Для проведения дистанционной олимпиады было составлено по два варианта заданий: демонстрационный и основной – для каждого класса. При этом исходили из возможностей СДО Moodle, с использованием которой проводилась олимпиада, руководствовались принципами тематического разнообразия заданий, их «посильности, занимательности, ориентированности на подготовку к более сложным олимпиадным испытаниям в дальнейшем», которые указаны в методических рекомендациях центральной предметно-методической комиссии Всероссийской олимпиады школьников по русскому языку, литературе [https://vserosolimp.edsoo.ru/school_way].

Ценным явился опыт ученых-филологов из Института стратегии развития образования РАО [6], Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) [12], Ярославского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского [7] и других исследователей, занимающихся вопросами составления, анализа заданий олимпиад. Обращались к практическим наработкам преподавателей филологического факультета СВФУ – членов предметно-методической комиссии олимпиад разного уровня (городской, республиканской, СВОШ по филологии (русский язык и литература)), составителей базы данных олимпиадных заданий [13–15].

В целом предложенные участникам дистанционной олимпиады задания предполагают оценку знаний по современному русскому языку и его истории, по теории и истории русской литературы в контексте русской национальной культуры, умения применять знания и навыки в этих областях. Наряду с этим олимпиадные задания направлены на обогащение кругозора, развитие универсальных учебных действий, в частности навыков анализа, синтеза, сравнения, обобщения, работы с информацией. Часть заданий связана с творчеством А.С. Пушкина, построена на материале его произведений или текстов о нем, поскольку дистанционная олимпиада была приурочена к юбилею великого русского поэта.

Специфика дистанционного формата олимпиады, проведенной с использованием СДО Moodle, ее двухпрофильное содержание (русский язык, литература), отмеченные выше принципы обусловили выбор следующих трех критериев для классификации олимпиадных заданий: 1) формат тестовых заданий в системе Moodle; 2) предметная область и компоненты предметной компетенции; 3) характер материала.

В соответствии с указанными критериями выделяются следующие типы заданий данной дистанционной олимпиады:

1. По формату тестовых заданий в системе Moodle: а) задания на множественный выбор; б) задания с коротким ответом; в) задания на установление соответствия.

Школьникам предлагались два вида заданий на множественный выбор: с выбором одного варианта ответа из указанных и с выбором нескольких вариантов. Во втором случае ответ участника олимпиады мог быть учтен как полностью верный, частично верный или неверный.

Задание с коротким ответом также предъявлялось в двух видах: задание, требующее ввода ответа в форме слова (слов) или краткой фразы, и задание с вложенным

ответом, содержащее текст с пропущенным элементом, который нужно восстановить, заполнив место пропуска. Например, в этом задании на месте пропуска необходимо указать соответствующий термин:

8 класс. Произношение слов [гр'йт], [здрас'т'э], [ч'б] возможно для _____ стиля произношения. Какой термин пропущен?

При разработке заданий с коротким ответом учитывались возможные варианты формулировки правильных ответов и фиксировались в системе тестирования. Так, в приведенном выше задании, наряду с эталоном ответа «разговорного», был предусмотрен вариант словоформы «разговорный», так как в данном случае при оценивании ответа в приоритете было умение определить стиль произношения и назвать обозначающий его термин, а не образование грамматической формы пропущенного термина.

Задание на установление соответствия представляет собой задачу, которая требует анализа и соотнесения предложенных элементов в двух группах. При этом количество элементов в обеих группах может быть одинаковым или разным. В последнем случае задача усложнялась для участника олимпиады, поскольку ему необходимо было выбрать соответствующий вариант ответа из второй группы (выпадающего списка), где количество элементов больше, чем в первой группе. Если участник установил правильно только часть пар соответствий, ответ считался частично верным и оценивался определенным баллом пропорционально количеству правильно составленных пар. Например, в следующем задании требовалось соотнести 4 элемента первой группы (слова из данного предложения) с 6 элементами второй группы (синтаксическая функция):

7 класс. Проанализируйте предложения. Какими членами предложения являются выделенные слова?

Другом и наставником А.С. Пушкина была его няня Арина Родионовна Яковлева. Не только преданностью и заботливостью завоевала она его доверие, привязанность и уважение. Она была «настоящей» представительницей русских нянь, мастерски говорила сказки, знала народные поверья, сыпала пословицами и поговорками».

другом и наставником была

его

доверие, привязанность и уважение

мастерски

подлежащее

определение

дополнение

сказуемое

обстоятельство

дополнение и сказуемое

Таблица 1

Результаты выполнения заданий
(по формату тестовых заданий в системе Moodle)

Типы заданий	Доля правильных ответов (%)				
	5 класс	6 класс	7 класс	8 класс	Среднее значение
Задания на множественный выбор	56,57	58,09	49,12	52,46	54,6
Задания с коротким ответом	69,28	65,3	36,35	44,59	53,88
Задания на установление соответствия	79,25	63,11	52,76	67,7	65,7

Источник: составлено автором на основе данных специализированной системы аналитики и статистики СДО Moodle.

Количественные данные результатов выполнения заданий на множественный выбор, с коротким ответом и на установление соответствия показывают, что в целом участники олимпиады лучше всего справились с заданиями третьего типа (табл. 1).

2. По предметной области и компонентам предметной компетенции: а) задания по русскому языку; б) задания по литературе.

Задания по русскому языку требуют знаний в разных его аспектах (фонетика, орфоэпия, графика, орфография, лексика, фразеология, морфемика, словообразование, морфология, синтаксис, пунктуация, стилистика, история языка), навыков языкового анализа, логических операций сопоставления, обобщения, а также языковой догадки. Приведенный ниже пример задания дистанционной олимпиады предполагает не только знания частей речи, но и смекалку и языковую догадку:

8 класс. Какое слово можно однозначно отнести только к одной части речи?

жаркое
алое
второе
заливное

Задания по литературе нацелены на оценку знания содержания литературных произведений, литературоведческих терминов, фактов жизни и творчества авторов, читательского кругозора. Некоторые задания включают указание на историко-культурный контекст и тем самым обогащают

фоновые знания школьников, способствуют осознанию тесной взаимосвязи литературы с историей, а также с другими видами искусства. Приведем примеры.

5 класс. Назовите княжеское войско, которое являлось таким же необходимым элементом в древнерусском обществе, как и князь. Князь нуждался в военной силе как для обеспечения внутреннего порядка, так и для обороны от внешних врагов. Княжеское войско было реальной военной силой, всегда готовой к бою. Именно с этим войском князь Олег «в цареградской броне» ехал по полю («Песнь о вещем Олеге»).

6 класс. Творчество А.С. Пушкина вдохновило многих художников на создание прекрасных иллюстраций к его произведениям. Рассмотрите открытку К.С. Бокарева (1928–2007) – известного графика, работавшего с художественной открыткой, палехского краеведа. По сюжету какой пушкинской сказки он создал эту открытку?

«Сказка о мёртвой царевне и о семи богатырях»

«Сказка о царе Салтане, о сыне его славном и могучем богатыре князе Гвидоне Салтановиче и о прекрасной царевне Лебеди»

«Сказка о попе и о работнике его Балде»

«Сказка о золотом петушке»

С вопросами по литературе, как показывают количественные данные результатов олимпиады, участники справились более успешно, чем с вопросами по русскому языку (табл. 2).

Таблица 2

Результаты выполнения заданий (по предметной области)

Типы заданий	Доля правильных ответов (%)				
	5 класс	6 класс	7 класс	8 класс	Среднее значение
Задания по русскому языку	58,42	57,79	41,99	51,26	52,36
Задания по литературе	65,25	62,58	61,43	63,31	63,14

Источник: составлено автором на основе данных специализированной системы аналитики и статистики СДО Moodle.

Таблица 3

Результаты выполнения заданий (по характеру материала)

Типы заданий	Доля правильных ответов (%)				
	5 класс	6 класс	7 класс	8 класс	Среднее значение
Задания с «классическим» материалом	59,42	57,41	44,9	51,7	53,35
Задания с занимательным материалом	61,98	64,52	78,98	72,52	69,5

Источник: составлено автором на основе данных специализированной системы аналитики и статистики СДО Moodle.

3. По характеру материала: а) задания с «классическим» материалом; б) задания с занимательным материалом.

Задания первого типа содержат «классический» языковой, литературный материал и формулировки в учебно-научном стиле с лингвистическими, литературоведческими понятиями и терминами. В заданиях второго типа используются необычные формулировки и/или оригинальный материал для анализа, что привносит новизну и дополнительный стимулирующий эффект в процессе решения олимпиадных задач. Например:

5 класс. Что можно вешать, находясь в плохом настроении, и задираешь, зазнаваясь?

лоб
глаза
нос
уши

5 класс. В русских народных сказках часто встречается выражение *за тридевять земель* в значении «далеко». Сколько стран надо пройти герою, чтобы добраться до нужного места?

9
12
27
51

6 класс. Расшифруйте аббревиатуры, в которых «спрятаны» названия произведений. Какое из этих произведений написано А.С. Пушкиным?

ДБРВСК
ДТСТВ
ХМЛН
ЛВШ

Ко второму типу также можно причислить задания, которые сопровождаются рисунками (иллюстрациями). Например, следующее задание по русскому языку включает изображение тарелки с гжельской росписью:

5 класс. Назовите вид русской народной росписи, указанный в отрывке.

На сервизе травы синие,
Синий конь по ним идёт,

Вырастают крылья сильные

У коня за этот год.

(В. Квитко)

Хохлома

Гжель

Палех

В подобных случаях рисунок, наглядно представляя предмет речи в тексте задания, активизирует мыслительную деятельность, внимание, снижает утомление у школьников. Это отчасти подтверждают и сравнительно-сопоставительные данные результатов выполнения заданий с «классическим» и занимательным материалом: правильных ответов больше к заданиям второго типа (табл. 3).

Дистанционные олимпиады, проводимые с использованием интернет-технологий, позволяют создать благоприятные условия для вовлечения в это мероприятие широких масс обучающихся, реализации и развития их интеллектуальных и творческих способностей. Одним из таких массовых мероприятий в Республике Саха (Якутия) явилась республиканская дистанционная олимпиада школьников по русскому языку и литературе «Северное сияние».

При разработке заданий для данной дистанционной олимпиады определяющими факторами стали возможности используемой для ее проведения интернет-платформы (СДО Moodle), принципы тематического разнообразия и адекватной сложности заданий, рациональной занимательности, ориентированности на перспективы олимпиадных испытаний более высокого уровня трудности. В соответствии с этим классификация олимпиадных заданий основывается на таких критериях, как формат тестовых заданий в системе Moodle, предметная область и компоненты предметной компетенции, характер материала.

По формату в системе Moodle задания этой дистанционной олимпиады представлены тремя типами: множественный выбор одного или нескольких вариантов ответа из предложенных; короткий ответ – ввод

слова (слов), краткой фразы или вложенный ответ; установление соответствия элементов в двух группах. По предметной области это задания двух типов, оценивающие компетенции соответственно по русскому языку и по литературе в рамках школьной программы, а также предполагающие знание русской национальной культуры, лингвистический и читательский кругозор. По характеру материала выделяются задания с «классическим» и занимательным материалом.

Данные количественного анализа результатов дистанционной олимпиады подтверждают, что занимательный, нестандартный материал эффективно стимулирует мыслительную деятельность: доля правильных ответов к таким заданиям значительно больше, чем к заданиям с «классическим» материалом. Детальный анализ результатов выполнения школьниками олимпиадных заданий, допущенных при этом ошибок станет предметом дальнейшего исследования.

В целом выполнение олимпиадных заданий потребовало от школьников как базовых знаний по русскому языку и литературе, так и широты кругозора, навыков аналитического и логического мышления, смекалки. Представленные типы заданий республиканской дистанционной олимпиады могут найти применение при формировании у обучающихся предметных компетенций на уроках и внеурочных занятиях по русскому языку и литературе, при подготовке к различным интеллектуальным соревнованиям.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 26.12.2017 № 1642 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Развитие образования”» (с изм. и доп.) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71848426/> (дата обращения: 24.02.2025).
2. Приказ Министерства просвещения РФ от 31.05.2021 № 287 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401333920/> (дата обращения: 24.02.2025).
3. Богоявленская Д.Б. Рабочая концепция одаренности // Вопросы образования. 2004. № 2. С. 46–68. URL: <https://vo.hse.ru/article/view/14916> (дата обращения: 22.02.2025).
4. Богус М.Б. Лингвистическая одаренность: структурно-функциональный анализ сущности и технологий выявления // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 11. С. 93–97. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39826> (дата обращения: 22.02.2025). DOI: 10.17513/snt.39826.
5. Хильченко Т.В. Теоретико-методологические и технологические аспекты проектирования дополнительной общеобразовательной программы для сопровождения одаренных детей (образовательная область: «Лингвистика») // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33017> (дата обращения: 22.02.2025). DOI: 10.17513/spno.33017.
6. Добротина И.Н., Осипова И.В. О заданиях Всероссийской олимпиады школьников по русскому языку: отбор содержания и требования к умениям // Русский язык в школе. 2021. Т. 82. № 6. С. 16–21. DOI: 10.30515/0131-6141-2021-82-6-16-21.
7. Кучина Т.Г. Современная русская поэзия в олимпиадных заданиях по литературе // Филологический класс. 2021. Т. 26. № 2. С. 212–220. DOI: 10.51762/1FK-2021-26-02-18.
8. Салимова Д.А., Габидуллина Ф.И. Проблемы составления и решения разноуровневых типов заданий для подготовки к олимпиадам по русскому языку // Филология и культура. Philology and Culture. 2022. № 3 (69). С. 237–244. DOI: 10.26907/2074-0239-2022-69-3-237-244.
9. Блохинская А.В., Злобинец Ю.Ф. Использование СДО Moodle при разработке олимпиады по русскому языку как иностранному // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки. 2024. № 104. С. 109–112. URL: https://vestnik.amursu.ru/wp-content/uploads/2024/03/n104_109-112.pdf (дата обращения: 24.02.2025).
10. Кедрова Г.Е. Филологические интернет-олимпиады для школьников как эффективная форма профориентационной работы // Вестник Московского университета. Серия 9: Филология. 2021. № 6. С. 22–31. URL: https://vestnik.philol.msu.ru/issues/VMU_9_Philol_2021_6.pdf (дата обращения: 24.02.2025).
11. Родионова А.Е., Юнусова А.Г. Методика работы с текстовыми заданиями в условиях дистанционной олимпиады по русскому языку в 5 классе // Педагогический журнал Башкортостана. 2016. № 5 (66). С. 71–81. URL: <https://pedagog-journal.ru/assets/files/2016/pzhb-565-2016.pdf> (дата обращения: 24.02.2025).
12. Ким Н.М. Олимпиада по русскому языку: практикум / Под ред. А.Г. Нарушевича. Ростов-на-Дону: Издательско-полиграфический комплекс РГЭУ (РИНХ), 2021. 63 с. ISBN 978-5-7972-2896-7.
13. Никонова Н.И., Залуцкая С.Ю. Оценочные средства для подготовки к региональному туру Всероссийской олимпиады школьников по литературе для одаренных обучающихся // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2022621219. Правообладатель ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова». № 2022621015; заявлено 07.05.2022; опублик. 26.05.2022 Бюл. № 6. 1 с.
14. Олесова А.П., Андреев А.М., Бердникова Т.А., Залуцкая С.Ю., Никонова Н.И., Печетова Н.Ю., Шкатуляк А.В. База данных олимпиадных заданий по русскому языку и литературе // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2021623173. Правообладатель ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова». № 2021623073; заявлено 16.12.2021; опублик. 24.12.2021. Бюл. № 1. 1 с.
15. Олесова А.П., Бердникова Т.А., Залуцкая С.Ю., Никонова Н.И., Печетова Н.Ю., Шкатуляк А.В. База данных тестовых заданий отборочного этапа Северо-Восточной олимпиады школьников по филологии (русский язык и литература) // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2023624511. Правообладатель ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова». № 2023624205; заявлено 24.11.2023; опублик. 11.12.2023 Бюл. № 12. 1 с.

УДК 378.147
DOI 10.17513/snt.40414

ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩЕГО УЧИТЕЛЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

¹Цыбанёва В.А., ²Серединцева А.С., ³Малетина О.А.

¹ФГАОУ ВО «Московский государственный институт международных отношений (университет)
Министерства иностранных дел Российской Федерации», Москва;

²ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», Волжский филиал, Волжский,
e-mail: anna_seredinceva@mail.ru;

³ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», Волгоград

Статья посвящена изучению актуального вопроса формирования цифровой компетентности будущих учителей иностранного языка в рамках цифровой трансформации образования и значительных изменений требований к компетентности современного педагога. Цифровые технологии становятся неотъемлемой частью языковой практики, появляются новые форматы межкультурной коммуникации, изменяются способы доступа к аутентичным языковым ресурсам. Владение цифровыми педагогическими инструментами и умение работать с цифровым контентом становятся обязательным компонентом профессионального стандарта. Таким образом, целью данного исследования является изучение специфики профессионального становления студентов – будущих учителей иностранного языка и определение способов формирования их цифровой компетентности посредством иностранного языка. В качестве методов исследования используются сравнение, синтез, анализ, наблюдение и анкетирование. В данной статье рассмотрено понятие цифровой компетентности будущего учителя иностранного языка; проанализированы области цифровых возможностей, предложенных Европейским союзом; изучены компоненты понятия цифровой компетентности педагога. Авторами проанализировано 78 источников, 17 из которых указаны в списке литературы. Проведенное исследование показывает, что учителя признают высокий потенциал цифровых форматов обучения и их преимущества с точки зрения удобства и разнообразия. Однако авторы отмечают наличие противоречия между осознанием важности цифровых технологий в образовании и уровнем сформированности цифровой компетентности учителя. В связи с этим авторами было проведено анкетирование и наблюдение за деятельностью учителей иностранного языка средней школы, что позволило выявить потребности учителей иностранных языков и определить основные приоритеты для разработки элективного курса, ориентированного на студентов педагогического образования. В основу построения элективного курса для будущих учителей иностранного языка положена Европейская модель цифровых компетенций для образования. В статье авторы проиллюстрировали данную модель примерами заданий, направленных на формирование цифровой компетентности через учебную иноязычную деятельность.

Ключевые слова: цифровая компетентность, цифровое образовательное пространство, цифровая трансформация образования, цифровые технологии, обучение иностранному языку

A FOREIGN LANGUAGE AS A MEANS OF DEVELOPING THE DIGITAL COMPETENCE OF FUTURE FOREIGN LANGUAGE TEACHERS

¹Tsybaneva V.A., ²Seredintseva A.S., ³Maletina O.A.

¹Moscow State Institute of International Relations (University), Moscow;

²Volzhskiy branch of Volgograd State University, Volzhskiy, e-mail: anna_seredinceva@mail.ru;

³Volgograd State University, Volgograd, e-mail: o.maletina@volsu.ru

The article focuses on the issue of developing digital competence in future foreign language teachers within the context of the digital transformation of education and significant changes in the requirements for the professional competence of a modern educator. Digital technologies have become an integral part of language practice, giving rise to new formats of intercultural communication and transforming access to authentic language resources. Consequently, proficiency in digital pedagogical tools and the ability to work with digital content have become a mandatory component of professional standards. Thus, the aim of this study is to examine the specifics of professional development among the students (future foreign language teachers) and identify the ways to develop their digital competence through foreign language study. The research employs comparative analysis, synthesis, observation, and survey methods. The article explores the concept of digital competence for future foreign language teachers, analyzes the digital competency areas proposed by the European Union, and examines the components of a teacher's digital competence. The study reviewed 78 sources, including 17 referenced works. The study reveals that educators recognize the high potential of digital learning formats and their advantages in terms of convenience and diversity. However, the authors highlight a contradiction between the awareness of the importance of digital technologies in education and the actual level of teachers' digital competence. In this regard, the authors conducted a survey and observed the practices of secondary school foreign language teachers, identifying their needs and establishing the key priorities for designing an elective course for teacher education students. The proposed elective course for future foreign language teachers is based on the European Framework for the Digital Competence of Educators (DigCompEdu). In the article, the authors illustrate this model with examples of tasks aimed at developing digital competence through foreign language learning activities.

Keywords: digital competence, digital educational environment, digital transformation in education, digital technologies, teaching a foreign language

Введение

Социальные изменения, происходящие в последние годы в обществе, оказывают значительное влияние на компетентностную направленность современного образования. Совершенствование информационных и компьютерных технологий способствует образованию новых знаний и появлению новых компетенций. В современных реалиях развития общества цифровая трансформация стала повседневным явлением, профессиональное развитие специалистов во многом зависит от эффективного и надежного использования информационно-компьютерных технологий. Важно не просто овладение лингвистическими реалиями, а умение эффективно взаимодействовать с иноязычным цифровым пространством. Соответственно, меняется и роль учителя иностранного языка, перед которым стоит задача интегрировать цифровую грамотность в процесс обучения иностранному языку. В связи с вышеуказанным заметим, что студентам педагогического направления – ФГОС 44.03.01 и 44.04.01 «Педагогическое образование» (далее – будущие учителя иностранного языка – будущие учителя ИЯ – студенты) в процессе обучения в высшем учебном заведении необходимо проходить дополнительное обучение по цифровой трансформации иноязычного образования.

Учитывая данную реальность, будущий учитель ИЯ должен знать, как уверенно внедрять данные технологии в образовательный процесс, оптимизировать процесс обучения при помощи электронных ресурсов. Стремление постоянно развиваться и способность к непрерывному обучению становятся важнейшими качествами будущего учителя ИЯ. На пути цифровой трансформации общества в целом и цифровой трансформации иноязычного образования в частности от будущего учителя ИЯ требуется демонстрация высокого уровня сформированности цифровой компетентности, в связи с чем значительным изменениям подвергаются и основные профессиональные образовательные программы, и программы дополнительного образования [1]. Таким образом, возникла необходимость в разработке таких программ элективных курсов, которые бы соответствовали направлению развития цифровой трансформации иноязычного образования. Однако возникает вопрос о готовности будущего учителя ИЯ к стремительно меняющейся действительности. На первый план выходит проблема поиска оптимальных и эффективных приемов обучения иностранно-

му языку, а также необходимость создания естественной среды на занятиях в условиях перехода от традиционных форм организации учебного процесса к цифровым [2]. Таким образом, данные факторы должны найти отражение в содержании программ элективных курсов для будущих учителей ИЯ.

Цель исследования – рассмотреть особенности профессионального становления и развития будущих учителей ИЯ, обучающихся на элективных курсах в условиях цифровой трансформации иноязычного образования и определить пути формирования у них цифровой компетентности средствами иностранного языка.

Материалы и методы исследования

Для достижения обозначенной выше цели авторы применяли различные методы исследования. Первоначально необходимо было использование таких теоретических методов исследования, как критический анализ педагогической и лингводидактической литературы, научных источников, ориентированных как на теорию и методику преподавания иностранного языка, так и на цифровую трансформацию образования, а также методов обработки данных – качественного анализа, оценки разработанности проблемы в области педагогической, лингводидактической и методической литературы. Данный этап называется поисково-теоретическим. Также осуществлялось наблюдение за процессом обучения студентов специальности 44.03.01 и 44.04.01 «Педагогическое образование», будущих учителей ИЯ. С целью обоснования необходимости разработки элективного курса для студентов данной специальности проводился опрос учителей ИЯ Волгоградской области и анализ результатов анкетирования, полученных в ходе различных мероприятий в рамках курсов по программам дополнительного профессионального образования. Всего в опросе приняли участие 642 учителя ИЯ. Полученные данные позволили констатировать наличие выраженной потребности у действующих учителей в совершенствовании цифровой компетентности. На основании этого был сделан вывод о целесообразности ее целенаправленного формирования уже на этапе профессиональной подготовки будущих учителей ИЯ, а выявленные актуальные потребности профессионального педагогического сообщества послужили основой для разработки элективного курса. Второй этап, обобщающий по своему характеру, включал оформление результатов теоретического исследования, а также формулирование и проверку выводов.

Результаты исследования и их обсуждение

Для понимания концепции развития профессиональной цифровой компетентности будущего учителя ИЯ рассмотрено понятие «цифровая компетентность» и определены ее базовые характеристики.

Цифровая компетентность касается всех основных жизненных навыков, знаний и ресурсов в информационном обществе. Следовательно, формирование цифровой компетентности следует рассматривать как непрерывный процесс развития от инструментальных навыков до продуктивной личной компетентности [3]. В основе цифровой компетентности лежит цифровая грамотность, а достижение цифровой грамотности возможно путем приобретения определенного набора навыков и знаний [4]. Такая грамотность универсальна и является составляющей информационной культуры людей. Компетентность – это более широкое понятие, чем просто навыки и знания. Цифровая компетентность затрагивает как технические аспекты, связанные с аппаратным управлением и программным обеспечением, так и когнитивные, связанные со знаниями и обучением [5, с. 231].

Сегодня ключевым фактором является уже не доступ к технологиям, а возможность извлекать пользу из их использования для жизни, работы и обучения. Инструментальные знания и навыки являются предварительным условием для развития или использования более продвинутых навыков, которые часто называют навыками XXI в. Недавние исследования показывают, что в цифровой среде особый интерес представляют трансверсальные и сквозные навыки, такие как навыки решения проблем, аналитические навыки, самоуправления и общения, лингвистические навыки и другие так называемые «нестандартные навыки» [6, с. 15].

В предложенной Европейским союзом модели цифровых компетенций для граждан цифровая компетенция включена в одну из восьми главных компетенций в рамках непрерывного образования и подразумевает компетентное и осознанное использование цифровых технологий, включая базовые навыки обработки информации, такие как хранение, создание, визуализация, обмен данными и онлайн-коммуникацию. При этом особое внимание уделяется развитию критического мышления и ответственного использования в рамках использования найденной информации. Важно не только понимать технический аспект процессов функционирования компьютерных приложений, но и принимать во внимание возможные риски, распространяющиеся на онлайн-пространство, а также гарантировать точность и объективность онлайн-информации, соблюдать правовые и этические нормы в процессе использования инструментов сотрудничества онлайн [7, с. 8–9]. Согласно упомянутой модели коммуникативная компетентность представлена цифровыми компетенциями в пяти областях (рисунок).

Модель развития цифровых навыков населения опирается на Европейскую модель цифровых компетенций для образования, которая включает 6 областей профессиональной деятельности педагога [9, с. 16]:

1. Профессиональное взаимодействие: использование цифровых технологий для профессионального общения, совместной работы и профессионального развития.
2. Цифровые ресурсы: поиск, создание и обмен цифровыми ресурсами.
3. Преподавание и обучение: организация использования цифровых технологий в образовательном процессе.
4. Оценка: использование цифровых технологий и стратегий для повышения эффективности процедуры оценивания процесса обучения.



Области «цифровых возможностей» модели цифровых компетенций
Источник: составлено авторами на основе [7, 8]

5. Расширение прав и возможностей обучающихся: использование цифровых технологий для развития инклюзивного образования, персонализации обучения и эффективного вовлечения обучающихся в процесс обучения.

6. Содействие развитию цифровых компетенций обучающихся: предоставление обучающимся возможности творчески и ответственно использовать цифровые технологии для работы с информацией, общения, создания контента, обеспечения благополучия и решения проблем.

Таким образом, авторы, осознавая различие между понятиями «компетенция» и «компетентность» в лучших методических определениях, обозначают цифровую компетентность учителя ИЯ как набор цифровых компетенций, необходимых преподавателю для организации эффективного, инклюзивного и инновационного образования [6, с. 16].

Профессиональный стандарт, в свою очередь, определяет три компонента цифровой компетентности: общепользовательский (технологические умения), общепедагогический (изменение методики и содержания предмета) и предметно-педагогический (создание элементов учебно-методического комплекса) [10, с. 318].

Под педагогической цифровой компетентностью также понимается комплекс знаний, умений и навыков, позволяющих педагогу сделать надлежащий выбор цифровых инструментов и связанных с ними методов и стратегий обучения в определенном образовательном контексте, что способствует совершенствованию процесса обучения и удовлетворению потребностей как обучающихся, так и учителей [11, с. 90].

Авторы отмечают, что достаточно сложно дать четкое определение цифровой компетентности относительно образовательного процесса. В данном исследовании под цифровой компетентностью педагога понимается совокупность знаний, умений и навыков, необходимых для его профессионального и личностного развития и позволяющих эффективно выполнять свои профессиональные задачи в условиях цифровой трансформации образования.

Цифровая компетенция учителей ИЯ представляет собой комплекс теоретических знаний и практических навыков, необходимых для эффективного применения цифровых технологий в процессе языкового образования. Развитие данной компетенции не только способствует профессиональному росту педагога, но и оказывает опосредованное влияние на формирование цифровой грамотности обучающихся [12,

с. 210]. Следовательно, педагог не может развивать цифровую компетентность своих учеников, если он сам не владеет ею на должном уровне. В соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к учителям ИЯ, они должны демонстрировать высокий уровень не только владения самим языком, но и цифровой грамотности, являющейся неотъемлемой частью профессиональной компетентности современного педагога [9, с. 14].

Несмотря на многочисленные исследования в области развития профессиональной цифровой компетентности, школьные учителя, особенно из небольших городов и сельской местности, все еще демонстрируют недостаточно высокий уровень владения цифровыми технологиями. Среди препятствий для развития цифровой компетентности выделяют собственные негативные установки, нежелание принимать и понимать причины развития новых технологий. Как будущие, так и уже работающие учителя ИЯ должны уметь эффективно использовать цифровые технологии и с их помощью готовить обучающихся к языковым испытаниям [13, с. 423].

В рамках исследования авторами было организовано анкетирование практикующих учителей английского языка Волгоградской области с целью выявить актуальные дефициты цифровых навыков и с их учетом определить приоритетные компоненты содержания обучения будущих учителей иностранного языка.

Подавляющее большинство учителей (95%) признают ценность цифровых инструментов в обучении. Наибольший интерес вызывает практико-ориентированное применение цифровых технологий. Так, например, при ответе на вопрос «Какими цифровыми технологиями хотели бы овладеть?» самыми популярными были ответы: создание интерактивных упражнений (72%) и использование ИИ в учебной деятельности (68%). Однако всего лишь треть учителей уверенно владеет цифровыми инструментами. В этой связи учителя заинтересованы в прохождении курсов повышения квалификации по цифровой грамотности. Дополнительные образовательные программы востребованы у 84% опрошенных. Цифровые инструменты в той или иной степени стали неотъемлемой частью образовательного процесса для 62% педагогов. При высокой оценке важности технологий их внедрению в учебный процесс мешают организационные проблемы: нехватка времени (61%), недостаток технического оснащения (49%), недостаток навыков (37%) и низкая мотивация (28%). Лишь 15% опрошенных систематически занимаются

разработкой электронных онлайн-курсов, интерактивных заданий или созданием иного цифрового образовательного контента.

На основе результатов проведенного анкетирования и наблюдения за деятельностью учителей ИЯ авторами сделан вывод о положительном отношении к применению цифровых технологий в образовательном процессе и высоком уровне мотивации к овладению цифровой грамотностью. Однако выявлено противоречие между пониманием эффективности использования цифровых технологий и недостаточным уровнем развития цифровой компетентности школьных учителей. Педагоги осознают необходимость непрерывного профессионального роста с целью эффективного выполнения социального заказа, реализуемого посредством образовательных организаций. Данная проблема является существенной для учителей с большим стажем работы, которые испытывают затруднения при взаимодействии с цифровыми инструментами, как с простыми и общеизвестными (презентации, офисное программное обеспечение), так и со специальными (образовательные платформы, приложения).

Вышесказанное представляется актуальным при разработке программы обучения элективного курса, направленной на развитие профессиональной компетентности будущих учителей ИЯ, включая иноязычную коммуникативную и цифровую, и преодоление их профессиональных запросов и дефицитов [14, с. 74]. В этой связи при разработке элективного курса для будущих учителей ИЯ были определены следующие приоритеты: в процесс обучения иностранному языку внедрить систему микрообучения использованию цифровых инструментов для будущей профессиональной деятельности, разработать комплекс заданий, направленных на совмещение языковой практики с развитием цифровой грамотности, подготавливать студентов к критическому восприятию цифрового контента и пониманию основных норм цифрового общения.

При грамотном использовании учителем ИЯ цифровых ресурсов процесс обучения иностранным языкам обеспечивает эффективность образовательного процесса за счет выполнения следующих условий:

1. Возможность практиковать иностранный язык, взаимодействуя с подлинной аутентичной информацией и контекстом использования языка в реальном мире, таким образом изучение иностранного языка приобретает практическую направленность.

2. Повышение мотивации обучающихся, так как у них появляется осязаемая цель обучения и возможность соприкоснуться

с реалиями иноязычной культуры, при этом учитываются индивидуальный стиль и темп обучения.

3. Автономность процесса обучения, активная позиция и ответственность обучающегося за достижение результатов. Участие в форумах, электронная переписка, обмен мгновенными сообщениями, чаты, видеоконференции позволяют обучающимся одновременно совершенствовать свои языковые и цифровые навыки в реальном времени и без пространственных ограничений [15, с. 259].

Элективный курс для будущих учителей ИЯ основан на Европейской модели цифровых компетенций для образования и входящих в ее состав шести основных областей профессиональной деятельности педагога [6, 9, 16], каждая из которых представлена соответствующими образцами заданий по английскому языку.

Профессиональное взаимодействие включает освоение принципов этикета в цифровом пространстве (правила поведения, поддержание уважительного общения), соблюдение норм цитирования и оформления ссылок (авторские права и академическая добросовестность), управление цифровым профилем (защита личных данных, верификация и формирование репутации онлайн). В рамках курса студентам необходимо выбрать профессиональное онлайн-сообщество или блог учителей ИЯ, рассмотреть размещенные посты и варианты публичных сообщений, проанализировать стиль общения и соблюдение норм цифрового этикета. После проведенной работы преподаватель имитирует общение профессионального сообщества, создав в соцсетях ветку для обсуждения Should I Let My Kid Use ChatGPT in class? и предложив студентам организовать дискуссию в формате комментариев.

Цифровые ресурсы. Поиск, создание и обмен цифровыми ресурсами предусматривает работу с графической, текстовой, цифровой, речевой, видео-, фото- и другой информацией, содержащейся на определенном иноязычном ресурсе, например создание электронных портфолио с целью демонстрации профессиональных успехов или структурированного хранения материалов для профессиональной деятельности. Примером может стать задание «Цифровой рассказ» по созданию повествования на 3–5 минут с визуальным рядом с закадровым аудиосопровождением на тему The profession of a teacher. Данное задание включает в себя следующие этапы работы: составление плана, подборка мультимедийных материалов, написание сценария, за-

пись цифрового рассказа, редактирование цифрового рассказа, презентация рассказа, комментирование. Для выполнения этого задания студентам предложено использовать следующие приложения: Audacity (мощная и многофункциональная программа для редактирования и записи звука), Screenstudio (программа, позволяющая создавать видео, скринкасты, делать монтаж, улучшать видео, записывать картинку с подключенной видеокамеры и комментировать происходящее на экране через микрофон), Podomatic.com (онлайн-платформа для хостинга подкастов, предоставляет инструменты для записи, редактирования, публикации, продвижения и анализа подкастов), Voxorop.com (интернет-пространство для практики в устной речи и аудировании, создания устных сообщений на заданные темы и презентаций).

Еще одним примером в этой сфере может стать задание сгенерировать свой мем при помощи ImgFlip или MemeCreator на темы эмоционального состояния сегодня, отношения к иностранному языку и профессии учителя с последующим обсуждением этих мемов на занятии.

Преподавание и обучение. Создание контента онлайн (презентаций, игр, квестов) и размещение данного контента на образовательных платформах и в социальных сетях, разработка электронных курсов и учебно-методических комплексов, обучающих видеороликов, использование виртуальной среды обучения и т.д. Данная область связана с развитием таких навыков, как руководство учебным процессом и саморегулирование, обучение в коллективе. При этом в центре внимания должен находиться обучающийся, а учитель становится администратором образовательной среды. Студенты получают задание разработать учебный материал по теме Webworld in our life при помощи цифровых ресурсов. Создать набор карточек по изучаемой теме при помощи ИИ-генератора, дополнить изучаемую лексику примерами предложений с озвучкой и отработать в приложении Quizlet. Разработать интерактивный квест Digital future по грамматике: видеозагадка от главного персонажа (запись в Flipgrid), грамматический тест с автопроверкой (Googleforms), аудиоподсказки (Audacity).

Оценивание подразумевает размышление о процессе обучения и учебной деятельности, ведение онлайн-журналов, учебных практикумов, блогов на иностранном языке, использование цифровых приложений для оценивания прогресса в изучении материала, анализ собранных данных об успеваемости на основе электронных

таблиц и графиков, обеспечение обратной связи посредством электронной почты и различных мессенджеров и т.д. При работе над эссе студенты прибегают к ИИ-анализу, используя для оценки своих работ ChatGPT, DeepLWrite, Grammarly. Смысл задания сводится к тому, что студент сравнивает вариант до и после, проводит анализ изменений с последующим обсуждением в группе. Для самостоятельного отслеживания прогресса в процессе прохождения курса студентам предлагается создать «доску мотивации» (Pinterest), геймифицировать процесс обучения (Habitica), анализировать достижения (GoogleSheets).

Расширение прав и возможностей обучающихся. Например, адаптивные системы онлайн-обучения, позволяющие подстроить учебную деятельность и учебные материалы под каждого отдельно взятого обучающегося, его интересы, потребности и возможности, уровень владения иностранным языком и так называемое «смешанное обучение», в основу которого положено самостоятельное онлайн-освоение нового материала с последующим закреплением в ходе совместной работы [13, с. 422]. При помощи цифровых инструментов преподаватель записывает голосовые комментарии к ответам студентов. В качестве мотивации студентов преподавателем вводятся персональные бейджи (Classdojo). Для организации самостоятельной работы студентов преподаватель может использовать LearningApps, Quizlet, Clozemaster, Readlang, Otter.ai. Приложение wheelofnames.com поможет преподавателю распределить темы и задания индивидуально каждому студенту. Для организации смешанного обучения преподавателю важно иметь банк онлайн-ресурсов, с которыми студенты работают дома, а обсуждают в классе. Обратную связь от студентов преподаватель получает при помощи различных онлайн-форм, например GoogleForms.

Содействие развитию цифровых компетенций обучающихся. Отметим, что, с одной стороны, будущему учителю ИЯ необходимо самому научиться применять цифровые технологии в рамках своего профессионального развития, обмена опытом с коллегами, участия в профессиональных сообществах и работы с международным образовательным контентом. С другой стороны, он должен знать, как научить обучающихся безопасно, ответственно и творчески использовать цифровые технологии в процессе обучения иностранным языкам, постепенно развивать навыки использования цифровых технологий и создания цифрового иноязычного контента в ходе выполне-

ния учебных заданий [17, с. 103]. В связи с этим основная задача элективного курса сводится к тому, чтобы показать студентам эффективность технологий как инструмента для достижения языкового прогресса и профессиональной самореализации. Зачетная работа студентов представляет собой презентацию по теме *Digital Literacy Is Essential in the Modern Education*. Студенты собирают информацию по теме, проводят анализ интернет-источников, приводят примеры использования цифровых технологий в образовании, описывают свой собственный опыт и дают оценку своему прогрессу в обучении. В процессе создания презентаций студенты используют цифровые инструменты, освоенные в рамках учебного курса.

В рамках разработанного элективного курса развитие цифровой компетентности будущих учителей иностранного языка интегрировано непосредственно в процесс обучения английскому языку, где изучаемый язык выступает не только объектом изучения, но и инструментом взаимодействия с цифровой средой. Таким образом, развитие цифровой компетентности обучающихся происходит в процессе выполнения ими заданий с использованием цифровых ресурсов (инструменты виртуальной реальности, подкасты, мультимедиа, игры, приложения и т.д.), а также направленных на создание контента (блоги, презентации, сторителлинг, инфографика) и анализ цифрового материала в языковой среде. Важно отметить, что задания подобного рода также способствуют развитию метакогнитивных навыков обучающихся. Например, при работе над созданием видеоролика студенты учатся разрабатывать и планировать сценарий, рефлексировать по поводу достоверности источников информации или количества просмотров, получать обратную связь и исправлять ошибки.

Заключение

Исходя из результатов данного исследования можно сделать вывод, что цифровая компетентность будущего учителя ИЯ требует развития, поскольку реалии современного трансформационного образования предполагают активное использование на уроках иностранного языка смешанного типа обучения с применением различных образовательных платформ, онлайн-курсов, направленных на устранение дефицитов у обучающихся, выявленных в процессе овладения иностранным языком. Более того, грамотное использование цифровых технологий способствует повышению мотивации обучающихся к изучаемому языку.

Настоящий тренд обусловлен практически доказанными преимуществами цифровых форматов организации процесса обучения иностранному языку с точки зрения их удобства и разнообразия. Цифровая компетентность будущего учителя ИЯ, интенсивное развитие которой происходит в период активного профессионального становления в вузе, является ключевой для формирования цифровой компетентности обучающихся, в том числе посредством соизучения иностранного языка и других дисциплин. Принимая беспредметность как уникальность самого предмета «Иностранный язык», авторы понимают, что цифровая трансформация иноязычного образования способствует не только развитию и повышению уровня владения иноязычной коммуникативной компетенцией обучающихся, но и цифровых компетенций, важность которых в конкурентно-ориентированном мире бесспорна. Авторы пришли к выводу, что совершенствование цифровой компетентности будущих учителей ИЯ является непрерывным процессом, в ходе которого важно формировать критическое отношение не только к контенту в интернете, но и осмысленному отбору материала для уроков иностранного языка.

Таким образом, с целью определения основных приоритетов для разработки элективного курса, ориентированного на студентов педагогического образования, в рамках проводимого исследования были изучены потребности действующих учителей иностранных языков в Волгоградском регионе и установлены ключевые профессиональные дефициты, связанные с интеграцией современных цифровых технологий в процесс обучения иностранным языкам. В ходе прохождения курса студенты выполняют задания, способствующие параллельному развитию цифровой компетентности будущих учителей ИЯ и повышению уровня владения иностранным языком, что обеспечит достижение выпускниками уровня профессиональной готовности, необходимого для эффективного осуществления педагогической деятельности. Перспективы дальнейшего исследования проблемы авторы видят в оценке эффективности разработанного элективного курса для обучения будущих учителей ИЯ, усовершенствовании его содержания и внедрении курса в систему непрерывного обучения педагогов на различных этапах их профессиональной деятельности.

Список литературы

1. Федорова С.Н., Голикова Н.Д. Цифровая компетентность субъектов образовательного процесса // Вектор науки

- ТГУ. Серия: Педагогика, психология. 2022. № 2. С. 36–42. URL: <https://vektornaukipedagogika.ru/jour/article/view/334> (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.18323/2221-5662-2022-2-36-42.
2. Кузнецова Л.В., Лазарева И.Ю. Организация образовательного процесса в современных условиях цифровой трансформации образования // *Полицейская деятельность*. 2022. № 6. С. 85–93. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=39454 (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.7256/2454-0692.2022.6.39454.
 3. Ala-Mutka K. Mapping digital competence: Towards a conceptual understanding. Institute for Prospective Technological Studies. 2011. 62 p. [Электронный ресурс]. URL: https://www.academia.edu/42521335/Mapping_Digital_Competence_Towards_a_Conceptual_Understanding (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.13140/RG.2.2.18046.00322.
 4. Spante M., Hashemi S.S., Lundin M. & Algers A. Digital competence and digital literacy in higher education research: Systematic review of concept use // *Cogent Education*. 2018. Vol. 5, Is. 1. P. 1–21. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2331186X.2018.1519143#abstract> (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.1080/2331186X.2018.1519143.
 5. Салганова Е.И., Осипова Л.Б. Цифровая грамотность студентов: компетентностный подход // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2023. Т. 16. № 1. С. 227–240. URL: http://library.vsc.ac.ru/Files/articles/1679294284_227240.pdf (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.15838/esc.2023.1.85.12.
 6. Redecker C. European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. Punie, Y. (ed). Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2017. 93 p. [Электронный ресурс]. URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC107466/pdf_digcomedu_a4_final.pdf (дата обращения: 10.05.2025). ISBN 978-92-79-73494-6. ISSN 1831-9424. DOI: 10.2760/159770.
 7. Vuorikari R., Punie Y., Carretero Gomez S., Van den Brande G. DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens. Update Phase 1: The Conceptual Reference Model. Luxembourg Publication Office of the European Union. [Электронный ресурс]. URL: <http://digcomp.org.pl/wp-content/uploads/2017/11/DIGCOMP-2.0-en.pdf> (дата обращения: 10.05.2025). DOI: 10.2791/11517.
 8. Компаниец А.А. О необходимости формирования цифровой компетентности у современного педагога как субъекта цифрового образовательного пространства // *Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса*. 2021. Т. 13. № 2. С. 120–129. URL: https://science.vvsu.ru/scientific-journals/journal/current/article/id/2148689504/2021_2_10_О (дата обращения: 10.05.2025). DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2021-2/120-129.
 9. Макарьев И.С., Захаревич Н.Б. Компетенции педагога: от традиции к «цифре» // *Непрерывное образование*. 2021. № 4 (38). С. 14–24. URL: https://spbappo.ru/wp-content/uploads/2021/03/НО_38.pdf (дата обращения: 10.04.2025).
 10. Хоченкова Т.Е. Модель цифровых компетенций педагогов: терминологический и содержательный аспекты // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования*. 2021. Т. 18. № 4. С. 314–325. URL: <https://journals.rudn.ru/informatization-education/article/view/30226> (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.22363/2312-8631-2021-18-4-314-325.
 11. Mezentseva D.A., Dzhavlah E.S., Eliseeva O.V., Bagautdinova A.Sh. On the question of pedagogical digital competence // *Высшее образование в России*. 2020. Т. 29. № 11. С. 88–97. URL: <https://vovr.elpub.ru/jour/article/viewFile/2502/1582> (дата обращения: 10.05.2025). DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-11-88-97.
 12. Андреева А.А. Место цифровой компетенции в структуре профессиональной компетенции преподавателя иностранных языков // *KANT*. 2022. № 2 (43). С. 204–211. URL: <https://stavrolit.ru/kant/2386/2422/> (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.24923/2222-243X.2022-43.36.
 13. Гриншкун В.В., Копылова В.В. Целесообразность и способы развития компетентности учителей иностранного языка в области использования цифровых технологий в профессиональной деятельности // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования*. 2024. Т. 21. № 4. С. 419–433. URL: <https://journals.rudn.ru/informatization-education/article/view/42727> (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.22363/2312-8631-2024-21-419-433.
 14. Цыбанёва В.А., Серединцева А.С. Особенности разработки дополнительной профессиональной программы для учителей английского языка с учетом их профессиональных запросов // *Сибирский педагогический журнал*. 2020. № 2. С. 73–82. URL: <http://sp-journal.ru/article/4276> (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.15293/1813-4718.2002.09.
 15. Bucur N.-F., Popa O.-R. Digital Competence in Learning English as a Foreign Language-Opportunities and Obstacles // *The 12th International Conference on Virtual Learning, ICVL 2017. University of Bucharest and “L. Blaga” University of Sibiu*. 2017. P. 257–263. URL: https://www.researchgate.net/profile/Oana-Rica-Popa/publication/320558176_Digital_Competence_in_Learning_English_as_a_Foreign_Language-Opportunities_and_Obstacles/links/59ed9f314585151983ccee18/Digital-Competence-in-Learning-English-as-a-Foreign-Language-Opportunities-and-Obstacles.pdf (дата обращения: 10.04.2025).
 16. Тлеужанова Г.К., Саржанова Г.Б., Асанова Д.Н., Смагулова Г.Ж. Педагогические условия формирования цифровых компетенций педагога в условиях трансформации образования // *Қарағанды университетінің хабаршысы. Педагогика сериясы = Вестник Карагандинского университета. Серия Педагогика. = Bulletin of the Karaganda University. Pedagogics Series*. 2023. № 1. С. 176–182. URL: <https://pedagogy-vestnik.buketov.edu.kz/apart/2023-109-1/19.pdf> (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.31489/2023Ped1/176-182.
 17. Гриншкун В.В., Суворова Т.Н. Особенности подготовки педагогов в условиях цифровой трансформации системы образования // *Вестник Московского университета. Серия 20. Педагогическое образование*. 2024. 22 (1). С. 95–110. URL: https://msupedj.ru/upload/iblock/15b/2cfghtgun2svh413grwgshd32g236s26/Pedagogics_2024_1_95_110_Grinshkun_Suvorova.pdf (дата обращения: 10.04.2025). DOI: 10.55959/LPEJ-24-05.

УДК 378.1:378.6
DOI 10.17513/snt.40415

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ КУРСАНТОВ ВОЕННОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА ВУЗА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

Шартдинов А.Ш.

*Военный учебный центр ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,
Уфа, e-mail: shartdinov71@gmail.com*

В статье рассматривается проблема формирования профессиональной компетентности курсантов военных учебных центров вузов с использованием технологий интерактивного обучения. Целью исследования является разработка методики оценивания и анализ педагогических условий модели интерактивного обучения для повышения уровня профессиональной компетентности курсантов. Интерактивное обучение в статье рассматривается как один из эффективных способов формирования необходимых профессиональных компетенций, способствующих динамичному вовлечению обучающихся в образовательный процесс. В ходе исследования применялись теоретические, эмпирические и диагностические методы. В результате было обосновано внедрение модели формирования профессиональной компетентности, а также предложены методика оценивания и условия ее реализации. Выделены три уровня развития компонентов профессиональной компетентности курсантов: высокий (эталонный), средний (оптимальный) и низкий (пороговый), описаны их критерии. Определены педагогические условия, обеспечивающие результативность процесса: формирование образовательного пространства многостороннего диалога; психолого-педагогическая подготовленность педагога к использованию интерактивных технологий; структуризация педагогического процесса на основе современных технических средств обучения; моделирование разнообразных профессиональных ситуаций на учебных занятиях. В результате исследования сделан вывод о том, что использование интерактивных методов, форм и технологий открывает новые возможности для эффективного формирования профессиональной компетентности курсантов, способствует развитию их мотивации, активизации учебной деятельности, формированию профессиональных умений и навыков, а также профессионально значимых личностных качеств.

Ключевые слова: профессиональная компетентность, курсанты, вуз, качество подготовки, комбинированный контроль, педагогические условия, индивидуальное оценивание, интерактивное обучение

PEDAGOGICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF CADETS OF THE MILITARY TRAINING CENTER OF THE UNIVERSITY BASED ON INTERACTIVE LEARNING TECHNOLOGIES

Shartdinov A.Sh.

*Ufa University of Science and Technology Military Training Center,
Ufa, e-mail: shartdinov71@gmail.com*

The article discusses the problem of the formation of professional competence of cadets of military training centers of universities using interactive learning technologies. The purpose of the research is to develop an assessment methodology and analyze the pedagogical conditions of the interactive learning model to improve the level of professional competence of cadets. Interactive learning is considered in the article as one of the effective ways to form the necessary professional competencies that contribute to the dynamic involvement of students in the educational process. Theoretical, empirical and diagnostic methods were used in the course of the study. As a result, the introduction of a model for the formation of professional competence was justified, and a methodology for evaluating and conditions for its implementation were proposed. Three levels of development of cadets' professional competence components are identified: high (reference), medium (optimal) and low (threshold), and their criteria are described. The pedagogical conditions that ensure the effectiveness of the process are defined: the formation of an educational space for a multilateral dialogue; psychological and pedagogical readiness of the teacher to use interactive technologies; structuring of the pedagogical process based on modern technical means of teaching; modeling of various professional situations in the classroom. As a result of the study, it was concluded that the use of interactive methods, forms and technologies opens up new opportunities for the effective formation of professional competence of cadets, promotes the development of their motivation, activation of educational activities, the formation of professional skills, as well as professionally significant personal qualities.

Keywords: professional competence, cadets, university, quality of training, combined control, pedagogical conditions, individual assessment, interactive learning

Введение

На современном этапе развития Вооруженных сил в целях достижения высокого уровня подготовки выпускников высшей

военной школы необходимо уделять особое внимание качественному функционированию всех компонентов вузовского образования, которые влияют на формирование

и развитие профессиональной компетентности будущего специалиста. В процессе обучения специалистов военно-технической направленности необходимо основываться на положениях компетентностного подхода, который будет способствовать созданию теоретического конструкта и практических способов по формированию необходимых профессиональных компетенций выпускников.

В контексте данной проблемы применение интерактивного обучения, направленного на динамичное вовлечение участников в процесс образования с целью получения знаний, навыков сотрудничества и межличностного взаимодействия, развития психических свойств и личностных качеств, способностей, можно отнести к одному из эффективных способов формирования профессиональной компетентности специалистов [1–3]. В имеющихся научно-исследовательских работах и диссертационных исследованиях зачастую интерактивное обучение изучается как условие, способствующее формированию профессиональной компетентности, но как самостоятельный предмет исследования в работах, связанных с изучением специфики обучения в вузах военно-технической направленности, не анализируется [4, 5].

Дискуссионным вопросом в контексте выявления теоретического конструкта и практической реализации обучения в военно-техническом вузе выступает возможность моделирования педагогического процесса, основанного на тех или иных механизмах, условиях и факторах, с помощью которого возможно будет сформировать необходимый уровень профессиональной компетентности и организовать субъект-субъектные отношения между всеми участниками образовательного пространства [6, 7].

Цель исследования – разработка методики оценивания и анализ педагогических условий модели интерактивного обучения для повышения уровня профессиональной компетентности курсантов военного учебного центра вуза.

Материалы и методы исследования

В ходе дефиниции понятия «профессиональная компетентность», обосновании комплекса педагогических условий, влияющих на качественную сторону формирования профессиональной компетентности курсантов военного учебного центра вуза, был проведен теоретический анализ философской [8] и социологической [9], а также психолого-педагогической лите-

ратуры [10, 11], были обобщены представления о значении интерактивного обучения в формировании профессиональной компетентности курсантов военного учебного центра вуза. В процессе исследования авторы основывались на концептуальных идеях системного, компетентностного, полисубъектного и личностно-деятельностного подхода. В рамках системного подхода профессиональная компетентность рассматривается как сложная система, которая включает в себя такие аспекты, как знания, навыки, личностные качества. Компетентностный подход фокусируется на развитии ключевых навыков и способностей обучающихся, которые являются базовыми личностными конструктами в формировании профессиональной компетентности будущего профессионала. В рамках полисубъектного подхода процесс формирования профессиональной компетентности рассматривается как процесс, в котором участвует не только обучающийся, но и преподаватель, профессиональные сообщества и т.д. Личностно-деятельностный подход предполагает, что формирование профессиональной компетентности происходит в деятельности при непосредственной личностной вовлеченности обучающегося. В рамках названного подхода результатом образовательного процесса должен стать не комплекс заученных учебных материалов и навыков, а развитые компетенции в различных сферах.

Исследование проводилось в военном учебном центре ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» в течение пяти лет. Для решения задач исследования применялись теоретические методы (изучение и анализ научной литературы по тематике исследования), эмпирические методы (сбор эмпирических данных с последующей их обработкой и интерпретацией полученных результатов) [12, 13].

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице представлена систематизация ключевых показателей развития профессиональной компетентности курсантов, выработанная на основе теоретического анализа оценки передовых подходов к образовательной деятельности [14].

Педагогические условия являют собой качественную характеристику основных факторов, процессов и явлений образовательной среды, в которой содержатся основные требования к организации деятельности, комплекс мер, направленных на повышение эффективности педагогического процесса.

Критерии уровней развития компонентов профессиональной компетентности курсантов военных учебных центров вузов

Уровень	Описательная характеристика критериев
Высокий	– высокие показатели мыслительной, интеллектуальной деятельности: быстрый и качественный отбор информации; быстрое и качественное решение предложенной преподавателем проблемно-поисковой или учебно-исследовательской задачи (коэффициент допускаемых ошибок и неправильных решений не более 8–10%); ярко выражены интеллектуально-исследовательские умения анализа; практическое применение полученных результатов при решении поставленной задачи; – отмечается развитая информационная культура, культура самоорганизации, самостоятельной учебной работы; умения ситуативного анализа, отбора информации, значимой для принятия решения, поэтапного планирования (собственных действий, действий подчиненных, а также собственно боя, операции), прогнозирования последствий своих решений; умения оценивать результаты деятельности, демонстрация умений адекватно действовать в нестандартной ситуации; – отмечаются высокая мотивация и достаточно высокий уровень активности в учебной деятельности; творческое применение полученных знаний, быстрота реакции, находчивость, развитая коммуникативная культура; адекватная самооценка; стремление к саморазвитию
Средний	– отмеченные выше показатели развития интеллектуально-исследовательского, организационно-проективного и личностно-развивающего компонентов профессиональной подготовки курсантов военного учебного центра вуза на основе компьютерных интерактивных технологий проявляются на уровне, достаточном для отбора информации, решения предложенной преподавателем проблемно-поисковой или учебно-исследовательской задачи в стандартной ситуации; отмечаются определенные интеллектуально-исследовательские умения (коэффициент допускаемых ошибок и неправильных решений не более 30%), а также умения практического применения полученных результатов при решении поставленной задачи; – отмечаются определенные навыки информационной культуры и культуры самоорганизации, отсутствует ярко выраженная тяга к самостоятельной учебной работе и саморазвитию; решение задач ситуативного анализа, поэтапного планирования решения воображаемых служебных задач идет с использованием помощи интерактивной группы и преподавателя; недостаточно сформированы умения оценивать результаты собственной деятельности и деятельности других; – отмечается средний уровень мотивации к саморазвитию и активности, творческого применения полученных знаний; коммуникативная культура в контексте интерактивного взаимодействия нуждается в коррекции (отмечаются излишняя агрессивность, неадекватность оценки, неумение четко формулировать мысль); проявляется соотношение самооценки возможностей собственного развития с определенным стремлением к самосовершенствованию
Низкий	– показатели развития профессиональной подготовки курсантов военного учебного центра на основе компьютерных интерактивных технологий находятся на пороговом уровне, за который авторы принимали от 20 до 30% проявления эталонного уровня знаний, умений и навыков в контексте интеллектуально-исследовательского, организационно-проективного и личностно-развивающего компонентов структурно-функциональной модели; отмечаются также слабая мотивированность к учебным занятиям, самостоятельной работе и саморазвитию, а также неадекватная самооценка и низкий уровень рефлексии

Источник: составлено авторами на основе [14].

В рамках интерпретации результатов эмпирического исследования [12, 13] модели формирования профессиональной компетентности курсантов военного учебного центра вуза на основе технологий интерактивного обучения и анализа научной литературы по соответствующей теме авторы определили педагогические условия:

- формирование образовательного пространства многостороннего диалога (в исследовании автора оно представляет собой характер коммуникативного взаимодей-

ствия субъектов, с учетом всевозможных особенностей самой организации процесса обучения) [15];

- психолого-педагогическая подготовленность педагога к использованию алгоритмов реализации интерактивного обучения (представляет собой некий инструмент реализации интерактивного обучения в образовательном процессе и регулятор поведения преподавателя в процессе профессиональной деятельности, выполнялось в ходе самообразовательной, кафедраль-

ной и внутривузовской подготовки преподавателей) [16];

– структуризация педагогического процесса на основе современных форм, методов и технических средств обучения (характеризуется степенью реализации принципов наглядности и технологичности обучения, что позволит получить максимально точное представление о проблеме изучения, даст возможность установить технический интерактив и поднимет эффективность процесса формирования компетентного специалиста) [12, 17];

– моделирование разнообразных профессиональных ситуаций непосредственно на учебных занятиях (профессиональные умения обучающихся проявляются в исполнении обязанности одного или нескольких должностных лиц в процессе выполнения учебных заданий, решении выдвинутых конкретных тактических задач) [18].

Заключение

В результате проведенного исследования авторами было выявлено, что интерактивное обучение

– помогает конкретизировать теоретические знания у обучающихся;

– способствует увеличению мотивации будущего специалиста через создание условий, позволяющих овладевать новыми знаниями, систематизировать их, а также ставить новые познавательные цели;

– дает возможность совершенствоваться в рамках профессиональных умений и навыков и воспитывать профессионально значимые личностные качества.

Продуктивное становление курсанта в рамках военного вуза во многом обеспечивается правильной организацией учебного процесса, где особая роль отводится интерактивным форматам обучения. Исследование показывает, что успешность такой подготовки достигается при наличии определенных условий:

– во-первых, преподаватели должны уметь гибко комбинировать различные технологии и методики;

– во-вторых, учебная среда должна располагать к многостороннему диалогу и участию каждого курсанта;

– в-третьих, большое значение имеет применение современных технических средств, позволяющих моделировать реальные рабочие ситуации.

Однако простого внедрения интерактивных методов и технических новшеств недостаточно, если не учитывать три ключевых направления в развитии компетентности курсантов.

– Первое направление – функциональное: оно охватывает накопление и закрепление реального профессионального опыта, приобретенного как при аудиторной работе, так и во время практических занятий или тренировок.

– Второе направление – личностное: оно отвечает за формирование позитивного отношения к будущей службе, укрепление внутренней мотивации и развитие важных качеств личности, необходимых для военного дела (ответственность, дисциплина, умение взаимодействовать в коллективе).

– Третье направление – интегративное: заключающееся в объединении учебной, личностной и профессиональной составляющих, когда процесс саморазвития сливается с освоением военной специализации, формируя устойчивый комплекс необходимых умений и навыков.

Список литературы

1. Ситдикова Р.Р., Хайруллина А.С. Методы обучения на основе мультимедийной и интерактивной техники как основы информационно-коммуникационного и интерактивного обучения // Воспитание, обучение, образование: передовые технологии, исследования и разработки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (Новосибирск, 25 мая 2020 г.). Новосибирск: Профессиональная наука, 2020. С. 123–128. [Электронный ресурс]. URL: http://scipro.ru/conf/proceedings2_25052020.pdf (дата обращения: 10.03.2025).
2. Шумакова С.Ю. Интерактивное обучение в высшей школе // Индустриальная Россия: вчера, сегодня, завтра: сборник научных статей по материалам III Международной научно-практической конференции (Уфа, 11 августа 2020 г.). Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр “Вестник науки”», 2020. С. 43–47. [Электронный ресурс]. URL: https://perviy-vestnik.ru/wp-content/uploads/2022/05/2020-K-109-08_20.pdf (дата обращения: 10.03.2025).
3. Криричек М.А. Суть интерактивного обучения и новое видение интерактивных средств обучения // Обществознание и социальная психология. 2022. № 11–2 (41). С. 425–435. URL: <https://drive.google.com/file/d/1JJF51Nprz7UdM1KnejudUB0rGg72GOT/view> (дата обращения: 10.03.2025).
4. Тыщенко Т.И., Штратникова А.В. Использование инновационных технических средств и интерактивных технологий в проектах по патриотическому воспитанию // Культура и время перемен. 2023. № 4 (43). URL: [https://s.esrae.ru/timekguki/pdf/2023/4\(43\)/804.pdf](https://s.esrae.ru/timekguki/pdf/2023/4(43)/804.pdf) (дата обращения: 10.03.2025).
5. Шангутов А.О. Организация самостоятельной работы курсантов вузов внутренних войск МВД России с применением информационных технологий: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Санкт-Петербург, 2014. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dissercat.com/content/organizatsiya-samostoyatelnoi-raboty-kursantov-vuzov-vnutrennikh-voisk-mvd-rossii-s-primenen> (дата обращения: 08.04.2025).
6. Ширяев А.Н., Беловолов В.А., Сайгушев Н.Я., Жданок А.И. Формирование готовности курсантов к служебно-боевой деятельности в подразделениях специального назначения внутренних войск // Сибирский педагогический журнал. 2011. № 12. С. 342–348. URL: <http://sp-journal.ru/system/files/journals/2011012.pdf> (дата обращения: 10.03.2025).
7. Вертаев А.В., Аниканов М.В. Обучение курсантов военных институтов анализу оперативной обстановки с использованием интерактивных методов обучения // Вестник

Санкт-Петербургского военного института войск национальной гвардии. 2019. № 3 (8). С. 28–32. URL: <https://vestnik-spvi.ru/2019/09/005.pdf> (дата обращения: 10.03.2025).

8. Афанасьев И.А. Социальный риск: методологические и философско-теоретические аспекты анализа: дис. ... канд. филос. наук. Саратов, 2004. 137 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dissercat.com/content/sotsialnyi-risk-metodologicheskie-i-filosofsko-teoreticheskie-aspekty-analiza> (дата обращения: 10.03.2025).

9. Никандров Н.Д. Воспитание и социализация молодежи: проблемы гармонизации // Социальная педагогика. 2012. № 1. URL: <https://narodnoe.org/downloads/states/12320> (дата обращения: 17.03.2025).

10. Новикова А.Ю., Полуян Е.О. Интерактивные методы обучения и средства организации учебного процесса как инструмент освоения знаний // Символ науки. 2016. № 11–2 (23). С. 158–160. URL: <https://os-russia.com/SBORNIKI/SN-2016-11-2.pdf> (дата обращения: 10.03.2025).

11. Пырский А.М. Педагогические инновации в учебно-воспитательном процессе военной образовательной организации // Вестник Санкт-Петербургского военного института войск национальной гвардии. 2017. № 1 (1). С. 33–37. URL: <https://vestnik-spvi.ru/2017/12/009.pdf> (дата обращения: 10.03.2025).

12. Шартдинов А.Ш. Эмпирические результаты реализации структурно-функциональной модели формирования профессиональной компетентности студентов военного учебного центра вуза // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 6. С. 135–139. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40076> (дата обращения: 01.03.2025). DOI: 10.17513/snt.40076.

13. Шартдинов А.Ш. Критериально-диагностический аппарат в оценке изменений уровня сформированности профессиональной компетентности курсантов военного

учебного центра вуза // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 10. С. 217–222. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40198> (дата обращения: 01.03.2025). DOI: 10.17513/snt.40198.

14. Кирюшкин С.В. Анализ моделей и новых подходов к оценке качества образования // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2020. № 4 (24). С. 40–45. URL: https://ia.spcras.ru/index.php/itt_pgups/issue/view/751/i198 (дата обращения: 10.03.2025).

15. Климов М.А., Ращиколина Е.Н. Дистанционные технологии образования в развитии исследовательской деятельности обучающихся в вузе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. 2019. № 8. С. 82–88. URL: <http://www.nauteh-journal.ru/files/119ef8b6-1608-4930-b4de-76a2e7d22a11> (дата обращения: 10.03.2025).

16. Белова С.Н. Прогностическая модель внутренней системы оценивания качества образовательного процесса в вузе // Ученые записки Курского государственного университета. 2008. № 4. С. 73–86. URL: https://api-mag.kursksu.ru/api/v1/get_pdf/157 (дата обращения: 10.03.2025).

17. Шартдинов А.Ш., Аминев Д.С., Закирьянов А.Г., Ворошилов С.И. Использование методов интерактивного обучения в процессе формирования гражданско-патриотических ценностей курсантов военного учебного центра вуза // Динамика развития системы военного образования: материалы VI Международной научно-практической конференции (Омск, 14 марта 2024 г.). Омск: Омский государственный технический университет, 2024. С. 1248–1252. EDN: LQGRRN.

18. Сотников И.Б. Формирование профессиональной компетентности курсантов военно-образовательных учреждений войск Национальной гвардии Российской Федерации в процессе интерактивного обучения // Образование: традиции и инновации. 2020. № 4 (31). С. 34–39. EDN: LLGFZS.