



ИД «Академия Естествознания»

СОВРЕМЕННЫЕ НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

№ 4 2025

/// — /// — ///

MODERN HIGH TECHNOLOGIES

Scientific journal

No. 4 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

Технический редактор

Доронкина Е.Н.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Корректор

Галенкина Е.С.,

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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. Дольговский 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-вражных 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 «НИИ Академия Естествознания»
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

30.04.2025

Дата выхода номера

30.05.2025

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

22,25

Тираж

1000 экз.

Заказ

СНТ 2025/4

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

30.04.2025

Number issue date

30.05.2025

Format

60x90 1/8

Conditionally printed sheets

22,25

Circulation

1000 copies

Order

CHT 2025/4

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА КОВЫКТИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	
<i>Голодков Ю.Э., Елиин В.В., Ларионова Е.Ю., Горькова К.А.</i>	8
ВОСПРОИЗВОДИМАЯ МЕТОДОЛОГИЯ НАУКИ О ДАННЫХ	
<i>Горбунов В.И., Салимов Т.А.</i>	16
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕБ-ГРАФИКИ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ	
<i>Готская И.Б., Абрамов В.С.</i>	24
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ RUPHARM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАРМАКОКИНЕТИКИ ПОРФИРИН-ФУЛЛЕРЕНОВЫХ НАНОЧАСТИЦ	
<i>Крашенинников Р.С., Митричев И.И., Фурсов В.В.</i>	30
РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВНУТРИ НАНОЖИДКОСТНОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ПРЯМОГО ПОГЛОЩЕНИЯ	
<i>Манжула И.С., Вихтенко Э.М.</i>	43
О ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ВЫЧИСЛЕНИИ СОБСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛЕВЕРЬЕ С ВИДОИЗМЕНЕНИЕМ Д.К. ФАДДЕЕВА	
<i>Ромм Я.Е., Тюшнякова И.А.</i>	50
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ В «УМНОЙ ЛОГИСТИКЕ» ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК	
<i>Сабитов Р.А., Синьбухов Д.С.</i>	69
НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПОТОК В СИСТЕМЕ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПРИБОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	
<i>Самерханов И.З.</i>	76
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МНОГОЛУЧЕВОЙ ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС С УПРАВЛЯЕМЫМ ТЕЛЕСКОПОМ	
<i>Умнов В.П.</i>	82
СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ	
<i>Чигиринский Ю.Л., Зебазе Н.Ж.А., Чигиринская Н.В., Норченко П.А., Демченко И.К.</i>	90

Педагогические науки (5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.8.7)

СТАТЬИ

СУЩНОСТЬ И СТРУКТУРА СОЦИАЛЬНОГО ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ	
<i>Акоев А.Р., Малиева З.К.</i>	97

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОВЕТНИКА ДИРЕКТОРА ПО ВОСПИТАНИЮ С КЛАССНЫМИ РУКОВОДИТЕЛЯМИ: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	
<i>Боярская Ю.В.</i>	103
ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ СРЕДСТВАМИ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭТНОКУЛЬТУРНЫХ ТРАДИЦИЙ	
<i>Иванова А.В., Нестерева Н.А.</i>	108
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ УСПЕШНОГО ОБУЧЕНИЯ	
<i>Князев А.Г., Байгушева И.А., Пугина Н.Н.</i>	115
ОБУЧЕНИЕ АНАЛИЗУ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON	
<i>Козлов С.В., Быков А.А.</i>	121
ЯДРО ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ «ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА» ВУЗА В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ	
<i>Курзаева Л.В.</i>	127
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕШАННОЙ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ЛЕЧЕБНОГО ФАКУЛЬТЕТА МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА	
<i>Лебедев А.Ю., Тихоненков С.Н., Власов А.В., Дубровин Г.М., Прокофьева Ю.В.</i>	134
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ В МОРДОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	
<i>Массеров Д.А., Каверин А.В., Вавилин Д.А., Вавилин Н.А.</i>	139
РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЛОГОПЕДИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ УМЕНИЯ ДЕКОДИРОВАТЬ ФРАЗЕОЛОГИЗМЫ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С НЕДОРАЗВИТИЕМ РЕЧИ	
<i>Петрова Т.В.</i>	145
ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ ЧЕРЕЗ ИЗУЧЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА	
<i>Чернышова Э.П., Гильдина Т.А., Ткаченко Д.А.</i>	151
НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ	
ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ УЧЕБНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР	
<i>Александрова М.В., Попов В.С.</i>	160
СУЩНОСТЬ И СТРУКТУРА ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ВОСПИТАНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ	
<i>Исмаилова С.И.</i>	167
Технические науки (2.2.10 Метрология и метрологическое обеспечение)	
СТАТЬЯ	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	
<i>Федорович Н.Н., Кравченко П.Г.</i>	173

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

MODELING THE PARAMETERS OF THE GAS CONDENSATE STABILIZATION COLUMN OF THE KOVYKTA GAS CONDENSATE FIELD <i>Golodkov Yu.E., Elshin V.V., Larionova Ye.Yu., Gor'kova K.A.</i>	8
REPRODUCIBLE DATA SCIENCE METHODOLOGY <i>Gorbunov V.I., Salimov T.A.</i>	16
A UNIVERSAL APPROACH TO MONITORING THE PERFORMANCE OF WEB GRAPHICS IN THE INFORMATION TECHNOLOGY INFRASTRUCTURE <i>Gotskaya I.B., Abramov V.S.</i>	24
USING THE PYPHARM LIBRARY FOR PHARMACOKINETIC MODELING OF PORPHYRIN-FULLERENE NANOPARTICLES <i>Krashennnikov R.S., Mitrichev I.I., Fursov V.V.</i>	30
SOFTWARE FOR MATHEMATICAL MODELING OF SOLAR RADIATION INTENSITY INSIDE A NANOFLUID-BASED DIRECT ABSORPTION SOLLAR COLLECTOR <i>Manzhula I.S., Vikhtenko E.M.</i>	43
ON PARALLEL CALCULATION OF EIGENVECTORS BASED ON THE LEVERRIER METHOD MODIFIED BY D.K. FADDEEV <i>Romm Ya.E., Tyushnyakova I.A.</i>	50
ANALYSIS OF THE USE OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS TECHNOLOGIES IN «SMART LOGISTICS» TO OPTIMIZE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT <i>Sabitov R.A., Sinbukhov D.S.</i>	69
UNSTEADY FLOW IN THE QUEUING SYSTEM WITH HETEROGENEOUS SERVERS <i>Samerkhanov I.Z.</i>	76
AUTOMATED MULTI-BEAM LASER COMPLEX WITH A CONTROLLED TELESCOPE <i>Umnov V.P.</i>	82
STATISTICAL MODELING OF SURFACE ROUGHNESS WITH FINISH TURNING OF CARBON STEEL <i>Tchigirinsky Ju.L., Zebaze N.G.A., Chigirinskaya N.V., Norchenko P.A., Demchenko I.K.</i>	90

Pedagogical sciences (5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.8.7)

ARTICLES

THE ESSENCE AND STRUCTURE OF SOCIAL HEALTH OF STUDENTS <i>Akoev A.R., Malieva Z.K.</i>	97
INTERACTION BETWEEN THE EDUCATIONAL ADVISOR TO THE PRINCIPAL AND CLASS TEACHERS: KEY ASPECTS AND PRACTICAL RECOMMENDATIONS <i>Boyerskaya Yu.V.</i>	103

TECHNOLOGY FOR THE FORMATION OF RESEARCH SKILLS
IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS THROUGH THE PEDAGOGICAL
POTENTIAL OF ETHNOCULTURAL TRADITIONS

Ivanova A.V., Nestereva N.A. 108

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE MAIN PROFESSIONAL
EDUCATIONAL PROGRAMS BASED ON THE PROBABILITIES
OF SUCCESSFUL TRAINING

Knyazev A.G., Baygusheva I.A., Pugina N.N. 115

LEARNING TO ANALYZE LOGICAL EXPRESSIONS USING THE PYTHON
PROGRAMMING LANGUAGE

Kozlov S.V., Bykov A.A. 121

THE CORE OF THE PEDAGOGICAL CONCEPT OF FORMING
THE COMPETITIVENESS OF STUDENTS OF THE TRAINING DIRECTIONS
“INFORMATICS AND COMPUTER ENGINEERING” OF THE UNIVERSITY
IN THE CONTEXT OF THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ECONOMY

Kurzaeva L.V. 127

EXPERIENCE OF APPLICATION OF THE MIXED PEDAGOGICAL MODEL
OF TEACHING STUDENTS OF THE MEDICAL FACULTY OF A MEDICAL
UNIVERSITY

Lebedev A.Yu., Tikhonenkov S.N., Vlasov A.V., Dubrovin G.M., Prokofeva Yu.V. 134

THE USE OF MOBILE TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL EDUCATION:
EXPERIENCE OF IMPLEMENTATION AT MORDOVIA STATE UNIVERSITY

Masserov D.A., Kaverin A.V., Vavilin D.A., Vavilin N.A. 139

THE RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE SPEECH THERAPY
MODEL FOR THE FORMATION OF THE ABILITY TO DECODE
PHRASEOLOGICAL UNITS IN YOUNGER SCHOOLCHILDREN
WITH SPEECH UNDERDEVELOPMENT

Petrova T.V. 145

FORMATION OF VALUE ORIENTATIONS OF FOREIGN STUDENTS
THROUGH STUDYING THE ARCHITECTURAL HERITAGE
OF SAINT PETERSBURG

Chernyshova E.P., Gildina T.A., Tkachenko D.A. 151

REVIEWS

THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF LEARNING AUTONOMY
OF STUDENTS OF VOCATIONAL EDUCATION ORGANIZATIONS:
A THEORETICAL REVIEW

Aleksandrova M.V., Popov V.S. 160

THE ESSENCE AND STRUCTURE OF ETHNOCULTURAL EDUCATION OF STUDENTS

Ismailova S.I. 167

Technical sciences (2.2.10 Metrology and metrological support)

ARTICLE

IMPROVEMENT OF METROLOGICAL SUPPORT TO IMPROVE
THE QUALITY OF MEASUREMENTS AT ENTERPRISES

Fedorovich N.N., Kravchenko P.G. 173

СТАТЬИ

УДК 681.5:66.012.52:553.981.6

DOI 10.17513/snt.40361

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ
СТАБИЛИЗАЦИИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА
КОВЫКТИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ****¹Голодков Ю.Э., ¹Елшин В.В., ²Ларионова Е.Ю., ³Горькова К.А.**¹ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
Иркутск, e-mail: yrg27@mail.ru, e-mail: dean_zvf@istu.edu;²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет», Иркутск,
e-mail: lari555@mail.ru;³ООО «Газпромдобыча Иркутск», Иркутск, e-mail: gorkova9587@mail.ru

Исследование работы установки стабилизации газового конденсата в условиях Ковыктинского газоконденсатного месторождения выявило, что отклонения в термобарических параметрах колонны стабилизации приводят к утрате ценных углеводородов вследствие их уноса газами стабилизации. Это отрицательно влияет на качество получаемого продукта, которое оказывается ниже установленных проектных значений, что создает предпосылки для технологической нестабильности производства. Цель настоящего исследования заключалась в определении оптимального соотношения основных параметров процесса стабилизации газового конденсата с помощью компьютерного моделирования. Выявлено, что управление данным процессом осложняется большим числом технологических параметров, изменения которых могут оказывать существенное взаимное влияние. Проанализированы важнейшие параметры, влияющие на стабильность процесса и качество конечного продукта, такие как давление, температура, расходы сырья и др. Моделирование этих параметров выполнено в программном комплексе Aspen Hysys для оптимизации технологических параметров процесса стабилизации газового конденсата на установке комплексной подготовки газа. Расчеты проводились с учетом установленной проектом величины давления насыщенных паров стабильного газового конденсата. Полученные в ходе исследования данные позволяют улучшить систему автоматического управления процессом стабилизации газового конденсата и повысить экономическую эффективность эксплуатации месторождения.

Ключевые слова: газовый конденсат, колонна стабилизации, моделирование, оптимизация параметров**MODELING THE PARAMETERS OF THE GAS CONDENSATE
STABILIZATION COLUMN OF THE KOVYKTA GAS CONDENSATE FIELD****¹Golodkov Yu.E., ¹Elshin V.V., ²Larionova Ye.Yu., ³Gor'kova K.A.**¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: yrg27@mail.ru, dean_zvf@istu.edu;²Irkutsk State Medical University, Irkutsk, e-mail: lari555@mail.ru;³Gazpromdobycha Irkutsk, Irkutsk, e-mail: gorkova9587@mail.ru

A study of the gas condensate stabilization unit operation under the conditions of the Kovykta gas condensate field revealed that deviations in the thermobaric parameters of the stabilization column lead to the loss of valuable hydrocarbons due to their entrainment by stabilization gases. This has a negative effect on the quality of the resulting product, which is below the established design values, and creates prerequisites for technological instability of production. The purpose of this study was to determine the optimal ratio of the main parameters of the gas condensate stabilization process using computer modeling. It was revealed that control of this process is complicated by a large number of process parameters, changes in which can have a significant mutual influence. The most important parameters affecting the stability of the process and the quality of the final product, such as pressure, temperature, raw material consumption, etc., were analyzed. These parameters were modeled in the Aspen Hysys software package to optimize the process parameters of the gas condensate stabilization process at the integrated gas treatment unit. The calculations were carried out taking into account the saturated vapor pressure of the stable gas condensate established by the project. The data obtained during the study make it possible to improve the automatic control system for the gas condensate stabilization process and increase the economic efficiency of field operation.

Keywords: gas condensate, stabilization column, modeling, parameter optimization**Введение**

Предупреждение технологических аварий в эксплуатации промышленных объектов нефтегазовой отрасли и обеспечение непрерывного функционирования данной инфраструктуры имеют решающее значение в развитии экономики страны. Ковыктинское газоконденсатное месторождение (ГКМ), расположенное на востоке России,

является одним из крупнейших по запасам газа в этом регионе и служит основой для создания Иркутского центра газодобычи, выступает важной ресурсной базой для газопровода «Сила Сибири».

Рассмотрение известных примеров нарушений технологических режимов показало, что наиболее частые события происходят в виде отклонений технологических

параметров основного и вспомогательного оборудования от оптимальных значений, что приводит к неминуемым потерям ценных компонентов [1, с. 68; 2, с. 3]. В исследованиях [3, с. 22; 4, с. 72] отмечена возможность создания даже аварийных ситуаций, остановки производства и экономических издержек. Управление процессом стабилизации газового конденсата затруднено из-за большого числа технологических параметров, изменения которых могут оказывать сложное взаимное влияние друг на друга [5, с. 42]. Эффективным средством исследования таких процессов является использование компьютерного моделирования для поиска оптимальных условий обеспечения стабильности технологических параметров [6, с. 45] и совершенствования на этой основе систем автоматизированного управления технологическими процессами [7, с. 686].

Цель исследования состояла в поиске оптимального соотношения основных параметров процесса стабилизации газового конденсата с помощью компьютерного моделирования.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели исследования были применены комплексные научные методы. Основным подходом стало компьютерное моделирование технологических режимов работы установки комплексной подготовки газа №2 (УКПП-2) Ковыктинского газоконденсатного месторождения с использованием программного комплекса Aspen Hysys, который позволил проанализировать термобарические параметры и оптимизировать процесс. Для построения модели были учтены важные параметры, такие как давление, температура, расходы сырья и иные, которые влияют на стабильность процесса и качество конечного продукта. При этом принималось во внимание, что проектом установлена рекомендуемая величина давления насыщенных паров (ДНП) стабильного газового конденсата в диапазоне 0,055–0,065 МПа. Установление низкого значения ДНП в проекте направлено на обеспечение безопасности, соответствия стандартам, повышение качества продукта, экономическую выгоду и защиту окружающей среды.

Aspen Hysys – программный комплекс, предназначенный для математического моделирования разнообразных химических процессов, начиная от отдельных операций и заканчивая сложными объектами и нефтеперерабатывающими предприятиями [8, с. 2; 9, с. 127–128]. Корректное задание проектного состава исследуемого процесса по-

зволяет Aspen Hysys прогнозировать параметры потоков, их составы и физические свойства, рабочие условия аппаратуры, а также размеры оборудования [10, с. 95; 11, с. 110]. Программа предоставляет возможности для анализа условий обеспечения безопасности процесса и работы сложного оборудования, поведения установки при различных изменениях, а также оптимизации технологических параметров в целях достижения наилучших результатов.

Для определения технологических особенностей и ключевых факторов, влияющих на технологический режим, были выполнены литературный поиск и обзор научных исследований в области ректификации и стабилизации газовых конденсатов. На основании этого анализа была сформирована база знаний, которая послужила теоретической основой для дальнейших расчетов и моделирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Колонна стабилизации играет решающую роль в процессе стабилизации конденсата методом ректификации на установке стабилизации газового конденсата (УСК) [12, с. 28].

Основная задача процесса ректификации заключается в очищении нестабильного газового конденсата от примесей и выделении из него углеводородов класса метан, этан, пропан, бутан. Разделение компонентов смеси происходит за счет разницы в температурах кипения в процессе испарения и конденсации в ректификационной колонне тарельчатого типа. При этом жидкая фаза контактирует с поднимающимися газовыми потоками и обогащается более высококипящими углеводородами, а газовая фаза насыщается низкокипящими углеводородами [13, с. 20]. Тепловые и массообменные процессы осуществляются в результате конденсации паров и испарения жидкости, поэтому вся жидкость, которая содержится в исчерпывающей части колонны, обладает стабильными свойствами и является готовым товарным продуктом.

Анализ исследований в области ректификации [14, с. 107; 15, с. 18] показал, что важнейшими параметрами, влияющими на поддержание технологического режима в оптимальных условиях, являются следующие:

- давление в верхней и нижней частях колонны, а также перепад давления;
- температура подачи сырья;
- температуры низа и верха колонны;
- расходы сырья, дистиллята, орошающей жидкости и кубового остатка;

- параметры теплоносителя (температура и расход циркулирующей жидкости);
- состав и температура конечных продуктов;
- уровень жидкости в кубовой части колонны.

На качество процесса стабилизации газового конденсата существенное влияние оказывают расход и состав питательной смеси, которые могут рассматриваться как возмущающие воздействия. Так, недостаток питания приводит к повышению концентрации низкокипящих компонентов в дистилляте, и производительность ректификационной колонны снижается, а переизбыток исходной смеси ухудшает температурные условия для испарения низкокипящих компонентов, что приводит к увеличению содержания высококипящих компонентов в кубовом остатке, и качество выходящего конденсата снижается.

Эффективность процесса ректификации определяется также температурой внутри колонны, которая зависит от давления, параметров исходной смеси, количества флегмы и подаваемого пара в кипятильник. Если температура в кубовой части колонны снижается, то это приводит к уменьшению давления, для поддержания которого сокращается отбор паров из колонны. Тогда создаются условия для накопления низкокипящих компонентов в кубовой части, и качество продукта снижается. Если температура в колонне повышается, то увеличивается концентрация высококипящих компонентов в дистилляте, и производительность колонны снижается.

Исходная смесь при подаче в колонну должна иметь температуру не ниже температуры кипения, для этого используют систему автоматической стабилизации с помощью теплообменника. В противном случае для поддержания температуры подаваемой смеси будет расходоваться тепло пара нижней части колонны, что неизбежно усилит конденсацию паров и нарушит технологические условия процесса ректификации.

Изучение влияния расхода перегретого пара на эффективность разделения компонентов исходной смеси показало, что повышение расхода пара увеличивает скорость движения газовой фракции, тем самым способствует барботажу компонентов на тарелках и в целом процессу ректификации. Однако следует поддерживать оптимальное значение расхода пара ниже критического, при котором наблюдается нежелательное явление «захлебывания» колонны.

Для нормального функционирования печи, выполняющей функцию выносного

кипятильника, и всей колонны в целом необходимо поддерживать стабильный уровень жидкости в исчерпывающей части колонны, чтобы обеспечить материальный баланс.

Качество дистиллята напрямую зависит от количества подаваемой флегмы (орошения) в колонну, расход которой регулируется с помощью изменения состава дистиллята и температуры верхней части колонны. Это связано с тем, что повышение расхода флегмы, с одной стороны, улучшает производительность колонны по кубовой части жидкой фракции, а с другой стороны, снижает экономическую эффективность процесса по причине дополнительных энергетических затрат на испарение избыточной флегмы.

Таким образом, процесс ректификации является одним из наиболее сложных в химической технологии, поскольку характеризуется множеством взаимосвязанных параметров. На основе проведенного анализа формируются основные каналы регулирования, отражающие взаимосвязи между входными и выходными параметрами, а также определяются возмущения для колонны.

При изучении процесса стабилизации газового конденсата на установке УКПГ-2 авторами было обнаружено, что нарушение термобарических параметров колонны стабилизации приводит к уносу ценных углеводородных компонентов газами стабилизации. Это влечет за собой снижение качества конечного продукта относительно проектных показателей.

Показано, что управление этим процессом затруднено из-за большого числа технологических параметров, которые взаимозависимы. Поэтому из множества выходных параметров как наиболее результативные с точки зрения управления технологическим процессом были выделены температура и давление в кубовой части колонны. И исследования методом компьютерного моделирования выполнены относительно данных параметров.

В материалах статьи представлено сокращенное содержание процесса моделирования в среде Aspen Hysys.

1. Создан список компонентов модели, которые используются в технологическом процессе. К компонентам относятся такие углеводороды, как метан, этан, пропан, пентан, бутан и др. Также были добавлены проектные составы потоков.

2. Определен пакет свойств, связанных с уравнениями для моделирования термодинамического поведения как индивидуальных компонентов, так и их смесей. Расчеты производили с помощью уравнений состояния пакета свойств Peng-Robinson.

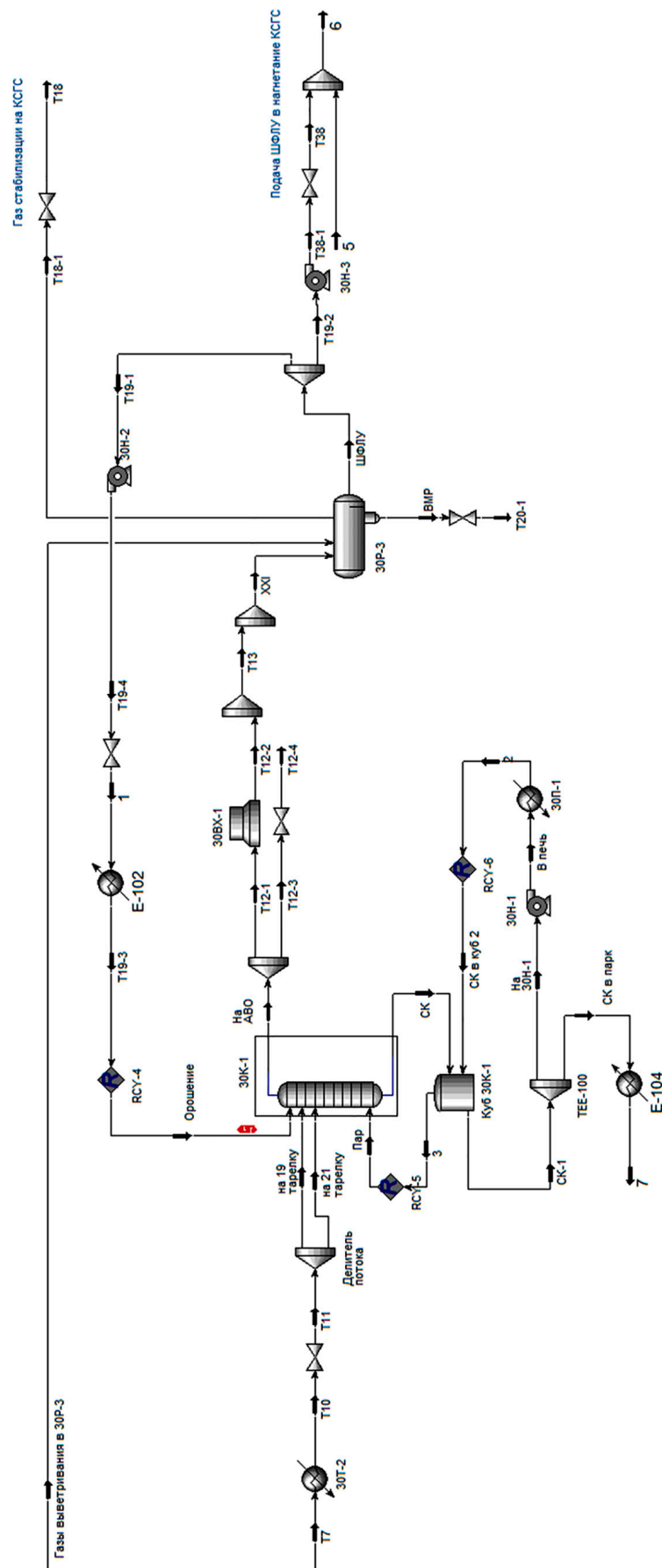


Рис. 1. Компьютерная модель УСК
Источник: составлено авторами

Материальный поток: На АВО

Таблица Вложения Динамика

Таблица	Название потока	На АВО	Паровая фаза	Жидкая фаза
Условия	Паровая / фазовая фракция	0,9327	0,9327	0,0673
Свойства	Температура [C]	45,47	45,47	45,47
Состав	Давление [MPa]	1,300	1,300	1,300
Подача нефти и газа	Мольный расход [std. t.m3/h****]	5,231	4,879	0,3520
Проба нефтепродукта	Масс. расход [kg/h]	8476	7766	709,5
Конст. равн.	Станд. объем. расх. ид. жидк. [m3/h]	18,15	16,86	1,291
Пользов.перемен.	Молярная энтальпия [kJ/kgmole]	-1,040e+005	-1,012e+005	-1,431e+005
Прим.	Молярная энтропия [kJ/kgmole-C]	159,4	163,8	98,26
Парам. стоим.	Тепловой поток [kJ/h]	-2,262e+007	-2,052e+007	-2,093e+006
Нормализ. выходы	Объем. расх. жидк. при станд. усл. [m3/h]	18,10	16,93	1,252
Выбросы	Пакет флюида	Basis-1		
	Тип утилиты			

OK

Материальный поток: На АВО

ТаблицаВложенияДинамика

Таблица	Массовые доли	Паровая фаза	Жидкая фаза	
Условия	Methane	0,0595	0,0646	0,00
Свойства	Ethane	0,2222	0,2369	0,06
Состав	Propane	0,3518	0,3604	0,25
Подача нефти и газа	i-Butane	0,1279	0,1231	0,18
Проба нефтепродукта	n-Butane	0,2073	0,1921	0,37
Конст. равн.	H2O	0,0002	0,0002	0,00
Пользов.перемен.	Methanol	0,0219	0,0169	0,07
Прим.	F1*	0,0063	0,0037	0,03
Парам. стоим.	F2*	0,0018	0,0010	0,01
Нормализ. выходы	F3*	0,0001	0,0000	0,00
Выбросы	Итого	1,00000		

Рис. 2. Задание проектных условий и состава потоков на примере материального потока газа стабилизации на выходе из колонны
Источник: составлено авторами

Выбор переменной Настройки проекта Результаты Граф.

Независимые переменные

Диспетчер переменных Найти переменные

Имя	Ярлык	Текущее знач.	Ед. изм..	Удалить
1 2 - Фаза-Температура (Общие)		260,0	C	X

Зависимые переменные

Диспетчер переменных Найти переменные

Имя	Ярлык	Текущее знач.	Ед. изм..	Удалить
1 7 - Калькулятор (Reid VP at 37.8 C-Общие)		52,56	kPa	X

Рис. 3. Сформированный список переменных для расчета термобарических параметров
Источник: составлено авторами

Выбор переменной Настройки проекта Результаты Граф.			
Сбой проекта		Показ Все	☒ Транспонирование Отправить в Excel
Состояние	2 - Фаза-Температура (Общие) [C]	7 - Калькулятор (Reid VP at 37.8 C-Общие) [kPa]	
Сценарий 10	214,0	71,22	
Сценарий 11	215,0	67,52	
Сценарий 12	216,0	66,01	
Сценарий 13	217,0	63,92	
Сценарий 14	218,0	61,58	
Сценарий 15	219,0	59,33	
Сценарий 16	220,0	57,29	
Сценарий 17	221,0	55,10	
Сценарий 18	222,0	53,09	
Сценарий 19	223,0	51,26	
Сценарий 20	224,0	48,80	
Сценарий 21	225,0	47,96	

Рис. 4. Результаты вычислений термобарических параметров
Источник: составлено авторами

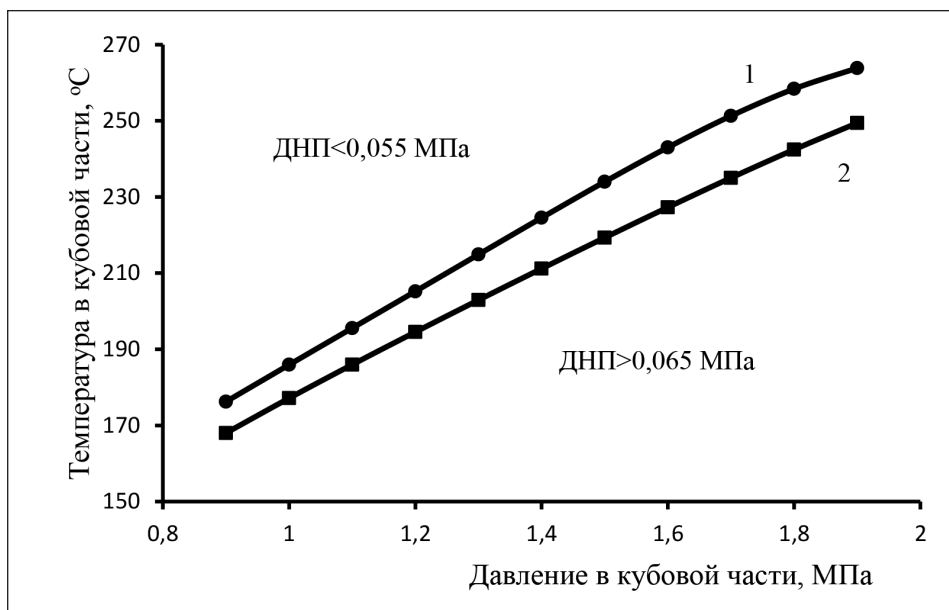


Рис. 5. Оптимальные термобарические условия колонны стабилизации
(график 1 – при ДНП= 0,055 МПа; график 2 – при ДНП=0,065 МПа)
Источник: составлено авторами

3. С помощью библиотеки блоков «Палитра моделей» в рабочем окне был смоделирован процесс стабилизации газового конденсата с указанием всего необходимого оборудования и аппаратов, который наглядно представлен на рис. 1, задан проектный состав входных и выходных потоков установки (рис. 2).

4. В рамках данного исследования был создан расчет под названием «Зависимость ДНП от температуры конденсата в кубе». Дальнейшие вычисления проводились для двух переменных: температуры стабильного конденсата на выходе из печи и давления насыщенных паров товарного стабильного конденсата (рис. 3).

5. После запуска программы автоматически формируется таблица с результатами вычислений (рис. 4).

Более полные результаты моделирования представлены на рисунке 5.

Анализ полученных результатов компьютерного моделирования позволил определить значения термобарических параметров колонны стабилизации для ведения оптимального режима работы УСК. Так, термобарические условия, соответствующие области между графиками 1 и 2 на рисунке 5, обеспечивают поддержание давления насыщенных паров стабильного газового конденсата в диапазоне 0,055–0,065 МПа, что гарантирует качество товарного продукта. При этом рабочими термобарическими условиями следует принять значения температуры конденсата в кубовой части, соответствующие давлению в диапазоне 1,5–1,6 МПа. Выбор таких значений термобарических параметров объясняется следующими причинами.

Значение давления в колонне больше 1,6 МПа приводит к дополнительной конденсации углеводородов из пара, что отрицательно влияет на состав стабильного газового конденсата. А значительное повышение температуры выше 228,2°C (при ДНП 0,065 МПа) и 243,0°C (при ДНП 0,055 МПа) может вызвать перегрев конденсата, что станет причиной уноса ценных компонентов газами стабилизации с верха колонны. Работа колонны стабилизации при давлении ниже 1,5 МПа и температуре меньше 217,8°C (при ДНП 0,065 МПа) и 233,9°C (при ДНП 0,055 МПа) возможна, однако в этом режиме мощность печи, выступающей в качестве кипятильника, будет использована не в полном объеме, так как для поддержания более низких температур в колонне не будут включены в работу все горелочные устройства.

Таким образом, предложенные условия обеспечивают эффективное отделение легких компонентов и поддержание давления насыщенных паров в требуемом диапазоне в соответствии с проектом.

Заключение

Проведенное исследование позволило глубже понять процесс стабилизации газового конденсата в условиях Ковыктинского газоконденсатного месторождения. С помощью компьютерного моделирования в программном комплексе Aspen Hysys были получены зависимости термобарических параметров, необходимые для настройки оптимального технологического режима, что способствует повышению качества конечного продукта и эко-

номической эффективности эксплуатации установки. Представленные в работе данные могут быть использованы для совершенствования системы автоматического управления процесса стабилизации газового конденсата Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Перспективы продолжения исследований в данной области связаны с возможностью дальнейшего улучшения процессов добычи и переработки углеводородов.

Список литературы

1. Ясьян Ю.П., Сыроватка В.А., Казакова А.С., Берстенко Е.Н. Рациональная технология извлечения сжиженных углеводородных газов на адсорбционной установке подготовки природного газа // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2024. № 9 (153). С. 68-72. URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/gazopodgotovka/855706-ratsionalnaya-tehnologiya-izvlecheniya-szhizhennykh-uglevodorodnykh-gazov-na-adsorbtsionnoy-ustanovki/> (дата обращения: 03.02.2025).
2. Мурзабеков Б.Е. Модернизация технологии стабилизации газового конденсата. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2015. 20 с.
3. Абдурахимов К.А., Ли А.Р., Абдурахимов М.А. Оптимизация технологических режимов работы установки стабилизации конденсата на примере промысла «Кокдудма-лак» // Universum: технические науки. 2024. № 3(120). С. 21-26. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16975> (дата обращения: 03.02.2025).
4. Ганбаров А.Б., Варламов Д.Н., Куликов Д.Ю., Проскурин Г.В. Определение параметров устойчивой работы ректификационной установки при отклонении от проектных условий // Газовая промышленность. 2018. № 8 (772). С. 72-76.
5. Никулин А.С., Степнов Д.А., Куркин Д.С. Разработка суррогатной модели колонны стабилизации газового конденсата // Газовая промышленность. 2022. № 11 (840). С. 42-45.
6. Маслов А.А., Павловский Г.Е. Пути повышения эффективности переработки газа и газового конденсата на Соногорском ГПЗ в условиях изменения объемов и состава сырьевой базы // Вести газовой науки: научно-технический сборник. 2020. № S1 (43). С. 43-46.
7. Абрамкин С.Е., Душин С.Е., Первухин Д.А. Проблемы разработки систем управления газодобывающими комплексами // Известия вузов: Приборостроение. 2019. Т. 62, № 8. С. 685–692. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-8-685-692.
8. Королева А.Н., Бахман В.А., Царегородцев Е.Л. Моделирование процесса изомеризации легких бензиновых фракций в программном пакете Aspen Hysys и анализ полученных результатов // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №7 (133). С. 1-5. URL: <https://research-journal.org/archive/7-133-2023-july/10.23670/IRJ.2023.133.25> (дата обращения: 03.02.2025). DOI: 10.23670/IRJ.2023.133.25.
9. Ахмеров Д.Р., Мухаметзянова А.Г. Повышение эффективности технологических установок нефтеперерабатывающих заводов с применением Aspen HYSYS // Вестник Технологического университета. 2025. Т. 28, № 1. С. 127-131. DOI: 10.55421/1998-7072_2025_28_1_127.
10. Гилязутдинов Д.Б., Носенко В.Н. Исследование процесса подготовки газов ГKM в среде ASPENHYSYS // Вестник Омского университета. 2018. Т. 23, № 4. С. 93-97. DOI: 10.25513/1812-3996.2018.23(4).93-97.
11. Гарипов Н.И., Зиятдинов Н.Н., Емельянов И.И. Системный анализ технологического процесса реакторного

узла установки производства метанола // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, № 8. С. 109-115. DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_8_109.

12. Жагфаров Ф.Г., Григорьева Н.А., Веретин М.С. Метод оптимизации процесса стабилизации газового конденсата в случае «утяжеления» углеводородного сырья // НефтеГазоХимия. 2024. № 1. С. 27–34. DOI: 10.24412/2310-8266-2024-1-27-34.

13. Сыроватка В.А. Совершенствование технологии извлечения тяжелых углеводородов C5+ из газа регенерации адсорбционной установки подготовки углеводородного газа: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Астрахань, 2018. 24 с.

14. Ермолин Д.Б., Магарил Е.Р., Магарил Р.З. Повышение эффективности работы стабилизационных колонн в нефтегазовой промышленности // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2018. № 4 (130). С. 107-114. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-4-107-114.

15. Абдурахимов К.А., Абдурахимов М.А., Ли Р.Ч. Исследование по определению температурного режима эксплуатации колонны дебутанизации на установке стабилизации конденсата «Кокдумалак» // Universum: технические науки. 2024. №3 (120). С. 16-20. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17117> (дата обращения: 03.02.2025).

УДК 004:001.89

DOI 10.17513/snt.40362

ВОСПРОИЗВОДИМАЯ МЕТОДОЛОГИЯ НАУКИ О ДАННЫХ

^{1,2}Горбунов В.И., ¹Салимов Т.А.¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский институт ИТМО»,
Санкт-Петербург, e-mail: gorbunov.v93@gmail.com;²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: gorbunov.v93@gmail.com

Современное состояние научной деятельности характеризуется стремительным ростом объемов цифровых данных, усложнением исследовательских процессов и увеличением междисциплинарных взаимодействий, что обуславливает необходимость переосмысления традиционной методологии проведения исследований. Целью настоящего исследования является разработка воспроизводимой методологии науки о данных, в которой научная деятельность представляется как совокупность формализованных процессов, взаимодействующих с центральным объектом – Информацией. Методология разработана на основе анализа актуальной научной литературы, философских оснований научного метода, а также опыта междисциплинарных проектов, ориентированных на воспроизводимые вычисления и системную работу с данными. В рамках работы структурированы семь воспроизводимых процессов: сбор наблюдений, сбор вопросов, сбор публикаций, исследование, создание концептуальных фреймворков, публикация и создание дизайна. Каждый из процессов определен через фазу анализа и синтеза и направлен на трансформацию элементов Информации, включающей определения, наблюдения, вопросы, концептуальные фреймворки, прогнозы и дизайн процессов. Методология позволяет отделить процессы производства знания от самого знания, что способствует повышению прозрачности, воспроизводимости и верифицируемости научной деятельности. Предложенная структура обеспечивает формализацию научной деятельности, ее управляемость и адаптивность к условиям цифровой науки, сохраняя преемственность классического научного метода.

Ключевые слова: наука о данных, воспроизводимость, концептуальный фреймворк, исследовательская методология, научный метод

REPRODUCIBLE DATA SCIENCE METHODOLOGY

^{1,2}Gorbunov V.I., ¹Salimov T.A.¹ITMO University, Saint Petersburg, e-mail: gorbunov.v93@gmail.com;²Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, e-mail: gorbunov.v93@gmail.com

The current state of scientific activity is characterized by a rapid increase in the volume of digital data, the growing complexity of research processes, and the expansion of interdisciplinary interactions, which necessitates a reconsideration of traditional research methodology. The aim of this study is to develop a reproducible data science methodology in which scientific activity is represented as a set of formalized processes interacting with a central object – Information. The methodology was developed based on an analysis of relevant scientific literature, philosophical foundations of the scientific method, and the experience of interdisciplinary projects focused on reproducible computation and systematic data handling. The study structures seven reproducible processes: observation collection, question collection, publication collection, investigation, conceptual framework creation, publication, and design development. Each process is defined through phases of analysis and synthesis and is aimed at transforming elements of Information, which includes definitions, observations, questions, conceptual frameworks, predictions, and process designs. The methodology enables a separation between the processes of knowledge production and the knowledge itself, thereby enhancing the transparency, reproducibility, and verifiability of scientific activity. The proposed structure provides for the formalization, manageability, and adaptability of scientific work in the context of digital science, while preserving the continuity of the classical scientific method.

Keywords: scientific method, data science, reproducibility, conceptual framework, research methodology

Введение

Современная наука развивается в условиях экспоненциального роста объемов цифровых данных, что оказывает значительное влияние на организацию и методологию научной деятельности. Усложнение исследовательских процессов, а также расширение междисциплинарных взаимодействий требует пересмотра классических подходов к производству, интерпретации и проверке научного знания.

Одной из ключевых тенденций последних лет становится интеграция подходов науки о данных в структуру научных исследований [1]. Эта область, изначально возникшая на пересечении информатики, статистики и прикладных дисциплин, формирует новые требования к организации научной работы, включая обработку больших данных, автоматизацию анализа, повторяемость вычислений и стандартизацию понятийного аппарата. В этих условиях возникает потребность в формализованной

методологической рамке, которая могла бы объединить философию классического научного метода с инструментами, развивающимися в науке о данных [2].

Также актуален вопрос о четком разграничении между процессами, создающими знание, и самим знанием как объектом. Это позволяет повысить системность и управляемость научной деятельности, особенно в междисциплинарной среде, где необходимо согласование терминологии, процедур и методов между различными научными школами и подходами.

Целью исследования является разработка воспроизводимой методологии науки о данных, представленной как система формализованных процессов, взаимодействующих с центральным объектом – Информацией, и ориентированной на применение в междисциплинарной научной среде.

Материалы и методы исследования

Исследование имело теоретико-методологический характер и проводилось в период с 2022 по 2025 г. в контексте междисциплинарной профессиональной деятельности, связанной с анализом больших данных и применением методов машинного обучения.

Методологическая база формировалась на основе систематического обзора научной литературы, посвященной трансформации научного метода в условиях цифровизации науки. В качестве источников рассматривались рецензируемые научные статьи, методические материалы и публикации, описывающие инженерную практику работы с данными.

Среди ключевых теоретических оснований – концепция центрированности на данных (data centrist), трактующая научную деятельность как процесс системного накопления и преобразования информации, получаемой из наблюдений [3]. Также учитывались подходы, направленные на интеграцию машинного обучения в классическую структуру научного метода, при котором гипотезы и концепции уточняются в ходе анализа больших массивов данных [4]. Дополнительно рассматривались философские критерии научности, в частности тестируемость и фальсифицируемость как неотъемлемые условия научной объяснительной модели [5].

Для анализа и синтеза информации применялись методы тематической категоризации, создания онтологий, построения ментальных карт и формализация процессов в табличной и схематичной формах. Эти методики позволяли структурировать подходы, выделять общие принципы и фор-

мировать модель научной деятельности, устойчивую к междисциплинарным различиям. Каждый элемент и процесс был определен на основе анализа как классических научных практик, так и современных данных о поведении исследовательских коллективов, систем открытой науки и платформ для совместного анализа данных [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Результатом проведенной работы является пересмотр и формализация методологии научной деятельности с опорой на философские и практические подходы. В рамках предложенной методологии объектом исследования науки о данных являются методы извлечения ценности из оцифрованных данных, отражающих изучаемое явление.

Методология позволяет рассматривать научное исследование как циклический процесс, в котором данные, понятия и объяснительные конструкции проходят через формальные и эмпирические стадии обработки. Ниже представлены компоненты этой методологии.

Объект *Информация* представляет собой ядро методологии – совокупность научных сущностей, формализующих знание, получаемое в процессе исследования. Все семь процессов методологии взаимодействуют с Информацией: наполняют, преобразуют и используют ее. В состав Информации входят следующие элементы: определения, наблюдения, вопросы, концептуальные фреймворки, прогнозы и дизайны процессов.

Рассмотрим каждый элемент Информации по порядку, обозначив терминологию, затем перейдем к рассмотрению места элемента Информации в общем процессе.

1. *Определения* – фундаментальная основа, на которой строятся все остальные сущности. Определения задают язык, структуру и логику всей исследовательской деятельности. Каждое наблюдение, вопрос, прогноз или элемент дизайна формируется и интерпретируется исключительно в рамках заданных определений. Это делает определения не просто вспомогательным, а системообразующим компонентом всей методологии.

Обсуждение, документирование и обмен знаниями в ходе исследования преимущественно осуществляются на естественном языке. Поскольку наука о данных является междисциплинарной областью, ее терминология отличается от используемых понятий в исследуемых предметных областях. В связи с этим важным аспектом организации научной деятельности является ведение и поддержание актуального глос-

сария, в котором фиксируются определения используемых терминов и методов. Четкость и полнота определений способствуют снижению количества проблем в коммуникациях как внутри исследовательской группы, так и во взаимодействии с внешними специалистами.

Определения делятся на два типа:

– Формальные определения – выражаются в строго определенной логической или математической форме [7]:

▪ Аксиомы – базовые утверждения, принимаемые без доказательств.

▪ Правила вывода – правил, с помощью которых (и только с помощью их) из аксиом и ранее выведенных теорем можно образовывать новые теоремы.

▪ Теоремы – выводы, строго вытекающие из аксиом по правилам вывода.

▪ Меры и метрики – характеристики для оценки свойств объектов.

▪ Измерения – числовые характеристики по результатам замера свойств объектов для фиксированного набора параметров измерения.

– Естественные определения – формулируются на естественном языке и отражают понятийную базу исследуемой области:

▪ Термины предметной области (например, сопоставление терминов из науки о данных с терминами предметной области). Научные определения терминов, которые могут отличаться от их обыденного употребления в естественном языке, что требует фиксации их значений для исключения неоднозначности.

▪ Методы и процедуры (например, «качественное интервью», «АБ тестирование»).

▪ Инструменты (например, «электронный микроскоп», «опросная анкета»).

Требования к определениям:

– Непротиворечивость – логическая и терминологическая согласованность.

– Полнота – достаточность информации для однозначного понимания и применения.

– Трансляция – возможность сопоставления внешних определений с внутренними.

2. *Наблюдения* – зафиксированные проявления эмпирического мира. Они интерпретируются только в рамках существующих определений.

Наблюдения классифицируются:

– по форме:

▪ качественные (описательные характеристики);

▪ количественные (числовые измерения);

– по источнику:

▪ первичные (полученные в ходе текущего исследования);

▪ вторичные (взяты из внешних публикаций);

– по стадии обработки:

▪ сырые (необработанные, полученные в результате сбора наблюдений);

▪ преобразованные (результаты предварительного анализа, нормализации и агрегации) [8].

Сырые наблюдения служат основой для проверки прогнозов, а преобразованные используются при построении моделей и будущих исследований.

3. *Вопросы* – формализованные направления научного поиска. Они задают границы и цели исследования, инициируют построение концептуальных фреймворков, а также требуют точного понятийного аппарата. Вопросы могут быть как прикладными, так и теоретическими (например, «Как изменяется X при Y?» или «Какие факторы определяют Z?»).

Исследовательские вопросы служат связующим звеном между наблюдаемым миром и будущими объяснениями. Они задают направления поиска, определяют релевантность информации и формируют основу для построения концептуальных фреймворков.

Вопросы могут быть ориентированы на уточнение терминов, проверку закономерностей, разработку методов измерения и т.д. Четкая формулировка вопросов позволяет задать направления поиска в рамках дальнейших процессов [9].

4. *Концептуальные фреймворки* – объяснительные структуры, объединяющие:

– законы – описывают наблюдаемые зависимости без объяснения причин;

– гипотезы – предполагаемые объяснения, подлежащие эмпирической проверке.

– теории – обобщения, интегрирующие несколько гипотез. Теория отличается от гипотезы степенью обоснования и масштабностью охвата.

Для научной значимости важно, чтобы концепт был не только проверяем, но и фальсифицируем. Принцип тестируемости требует, чтобы существовала возможность эмпирической проверки концепции, а принцип фальсифицируемости – чтобы концепция могла быть потенциально опровергнута.

Эти идеи восходят к философу Карлу Попперу, который утверждал, что научная концепция считается научной лишь в том случае, если она допускает опровержение. Концепция, которая не может быть опровергнута никакими данными, не поддается научной проверке и остается вне научного метода. Поэтому концепция должна формулироваться таким образом, чтобы ее можно было подвергнуть эмпирическому испытанию и потенциальному опровержению.

5. *Прогнозы* – логические следствия из концептуальных фреймворков, выраженные в терминах, зафиксированных в определениях, и предсказывающие наблюдения:

- формируются на основе существующих теорий и гипотез;
- служат инструментом эмпирической проверки теоретических конструкций через сравнение с сырыми наблюдениями [10];
- являются инструментом верификации концептуальных конструкций и в случае расхождения требуют их ревизии.

6. *Дизайн процессов* – формализованное описание будущей исследовательской деятельности [11]:

- может касаться любого процесса методологии: сбора наблюдений, построения модели, публикации и др.;
- включает цели, методы, метрики оценки, критерии успешности, ограничения и ресурсы;
- опирается на определения и другие сущности Информации;
- обеспечивает воспроизводимость, согласование действий исследователей и возможность предварительного анализа рисков.

Для формирования, использования и передачи Информации заданы семь процессов, которые можно разделить на три группы: поставляющие информацию, работающие с ней и управляющие исследовательской деятельностью. Рассмотрим подробнее каждый процесс.

1. *Сбор наблюдений* представляет собой процесс научной деятельности, направленный на фиксацию феноменов эмпирического мира.

Этот процесс включает два этапа:

- Анализ – определяется, какие частные признаки феномена будут зафиксированы, поскольку невозможно запечатлеть феномен в полном объеме. Это обусловлено как ограничениями органов чувств и инструментальных средств регистрации, так и тем, что любое наблюдение связано с выбором исследователя, который опирается на существующую систему знаний и целей исследования. Полное отображение феномена потребовало бы фиксации бесконечного множества его характеристик, что невозможно в рамках конечной системы представления знаний.

- Синтез – выбранные признаки объединяются с существующими определениями, что придает им субъективную интерпретацию, обусловленную структурой имеющихся знаний.

Наблюдение может осуществляться как в пассивной форме, так и с активным вмешательством, при котором исследователь изменяет параметры среды с целью на-

блюдения реакций системы. Такой подход приближается к эксперименту, но не включает немедленного вывода обобщений – интерпретация происходит на последующих этапах.

При фиксации наблюдений исследователь должен стремиться к объективности, избегая субъективных интерпретаций. Для повышения надежности наблюдений необходимо проводить повторный множественный сбор наблюдений разными людьми, а также учитывать вероятность случайных совпадений, что требует увеличения размера выборки.

Таким образом, формируется репрезентация объекта эмпирического мира в формальной системе, в рамках которой будет осуществляться дальнейшая работа.

2. *Сбор вопросов* происходит параллельно с фиксацией наблюдений и формирует пространство исследовательских вопросов. Это отдельный процесс в рамках методологии, выполняющий функцию формализации исследовательских интересов и постановки задач, на которые предполагается найти объяснение или решение. В отличие от сбора наблюдений, основанного на фиксации эмпирических данных, сбор вопросов работает как с эмпирическим миром, обозначая интересующие свойства феноменов, так и с уже накопленной информацией, выявляя области неполноты знания, которые требуют дальнейшего объяснения, уточнения или проверки.

Процесс сбора вопросов состоит из двух фаз:

- Анализ – исследователь выбирает интересующие аспекты феномена либо просматривает накопленную информацию с целью выявления элементов, вызывающих интерес или порождающих неопределенность. Вопрос никогда не формулируется в абсолютной пустоте, он опирается на уже имеющиеся понятия, определения, параметры и границы исследования.

- Синтез – после того, как выделены ключевые элементы, наступает переход от фокусировки на проблемной зоне к явной формулировке вопроса.

3. *Сбор публикаций* представляет собой систематизированный процесс интеграции внешнего знания в структуру текущего исследования. Научные публикации выступают важнейшим источником вторичной информации: они содержат результаты предыдущих наблюдений, сформулированные концепции, методы, а также оформленные термины и метрики. Включение внешнего материала требует сопоставления понятий и интерпретации в контексте существующей Информации [12].

Сбор публикаций – это специализированный процесс в рамках методологии, отличающийся от сбора наблюдений и вопросов своей природой: он не ориентирован на фиксацию эмпирических феноменов, а направлен на интеграцию существующих научных знаний, зафиксированных в работах других исследователей. Если сбор наблюдений связан с внешним эмпирическим миром, а сбор вопросов – с постановкой новых исследовательских задач, то сбор публикаций взаимодействует с уже оформленным знанием, прошедшим процедуры научной верификации, рецензирования и концептуализации. Это знание представлено в виде статей, монографий, тезисов, баз данных и других источников и может содержать определения, модели, концепции, методы, метрики, а также обоснованные выводы и примеры интерпретации.

Процесс сбора публикаций включает две фазы:

– Анализ – на этом этапе происходит целенаправленный отбор публикаций, релевантных исследуемой теме. Критерии анализа могут включать: тематическое соответствие, научную значимость и уровень цитируемости, применяемые методы, точность и формальность определений, новизну и обоснованность выдвигаемых концепций. Анализ требует предварительного понимания структуры Информации, уже сформированной в рамках исследования: отбор осуществляется с учетом существующих определений, концептуальных фреймворков и поставленных вопросов. Это позволяет исключить нерелевантные источники и сконцентрироваться на тех, что могут быть встроены в текущую методологическую схему.

– Синтез – после отбора публикаций начинается фаза интерпретации и адаптации полученного материала. Задачи синтеза включают:

- извлечение ключевых определений, методов, гипотез и метрик;
- сопоставление терминологии внешних источников с внутренними определениями;
- оценку согласованности новых концептов с существующими;
- выявление противоречий, уточнение или обоснованное расширение понятийного аппарата;
- формирование новых сущностей в объекте Информация (например, включение новых метрик в раздел «определения» или новых гипотез в концептуальный фреймворк).

Синтез может также сопровождаться аннотированием, категоризацией или переводом выбранного материала в структурированный формат (например, глоссарии, библиографические базы, онтологии).

Процесс сбора публикаций играет ключевую роль в обеспечении преемственности научного знания и повышении обоснованности новых концептуальных построений. В рамках методологии он, наряду со сбором наблюдений и вопросов, предоставляет информацию, необходимую для последующих исследований.

4. *Исследование* представляет собой процесс применения и развития формальных методов для анализа существующей Информации. Его цель – интерпретация наблюдений, проверка прогнозов, оценка гипотез и построение логически непротиворечивых, воспроизводимых научных выводов в виде формальных и естественных определений. Исследование не занимается созданием новых концептуальных фреймворков или прогнозов – это отдельная задача, выполняемая в процессе создания концептуальных фреймворков. Вместо этого исследование опирается на уже сформированные концепции и прогнозы, проверяя их внутреннюю логическую согласованность, применимость и соответствие наблюдаемым данным [13, 14]. Исследование состоит из двух фаз – анализа и синтеза.

– Анализ – исследователь изучает существующие определения, концептуальные фреймворки и прогнозы, выявляя объекты, требующие формального рассмотрения. При этом могут быть поставлены задачи логической верификации концептуальных фреймворков, проверки соответствия между прогнозом и сырыми наблюдениями, уточнения метрик или оценки применимости конкретного метода. Анализ также может выявить ограничения используемых инструментов или необходимость в разработке новых формальных подходов.

– Синтез – исследователь осуществляет непосредственное применение или развитие формальных методов. В рамках этого этапа исследователь может разрабатывать математические модели, строить алгоритмы анализа, проводить статистическую обработку, формулировать логические выводы или выполнять симуляции. Важным аспектом синтеза является не только вычисление или оценка параметров (измерение), но и изложение полученных результатов в терминах исходных определений и понятийной структуры Информации, а также сохранения артефактов, необходимых для воспроизведения измерения.

Таким образом, в процессе исследования осуществляется как прикладная аналитика, направленная на верификацию существующих утверждений, так и теоретическая работа, связанная с расширением инструментального аппарата самой методологии.

Исследование играет центральную роль в формализации научной деятельности. Оно обеспечивает воспроизводимость, точность и логическую непротиворечивость полученных результатов, позволяет проводить проверку научных гипотез и прогнозов в формализованной среде и тем самым поддерживает связь между теоретическими построениями и эмпирическими наблюдениями.

5. *Создание концептуальных фреймворков и прогнозов* – это процесс, направленный на формулирование новых объяснительных конструкций, позволяющих интерпретировать наблюдаемые явления и связывать их с существующими определениями и вопросами [15], а также создавать на их основе прогнозы для проверки согласованности с наблюдениями. Это единственный процесс в методологии, в рамках которого формируются новые гипотезы, теории, законы и прогнозы. Его результатом является структурированное объяснение, которое может быть использовано для дальнейшего анализа и проверки. Процесс включает две фазы: анализ и синтез.

– Анализ – исследователь изучает имеющуюся Информацию: наблюдения, определения, вопросы, уже имеющиеся концептуальные фреймворки. Основная задача этого этапа – выявить логические пробелы, неформализованные участки знания или паттерны в наблюдениях, которые не объясняются существующими концептуальными фреймворками. Также на этом этапе проводится сопоставление различных понятий, оценка согласованности между наблюдениями и текущими концепциями, выявление повторяющихся закономерностей или аномалий, которые требуют объяснения. Анализ может опираться как на внутреннюю структуру Информации, так и на знания, полученные в ходе сбора публикаций (после их сопоставления с существующими определениями и терминологией).

– Синтез – формулируются новые концептуальные фреймворки. Это может включать построение объяснительных моделей, выведение гипотез, разработку теоретических структур и введение новых определений на естественном языке. В рамках этой фазы также создаются прогнозы – конкретные, проверяемые следствия из предложенных фреймворков, выраженные в виде предсказаний будущих наблюдений. Прогнозы представляют собой неотъемлемую часть концептуального фреймворка, поскольку именно через сравнение прогнозов с сырыми наблюдениями осуществляется проверка его научной состоятельности.

Создание концептуального фреймворка – это творческая и аналитическая деятельность, направленная на переход от эмпирического накопления данных к построению объяснительных моделей при помощи дедуктивных и индуктивных подходов к формированию научного знания. Этот процесс важен, поскольку в формальной части методологии работают с уже заданными структурами, тогда как формулирование самих концептуальных рамок требует выхода за пределы существующего формального аппарата. Законы, входящие в структуру фреймворка, описывают устойчивые эмпирические зависимости, но не дают объяснений их причин. Гипотезы, в отличие от законов, предполагают объяснение, но требуют их проверки. Теории представляют собой систематизированное и многократно проверенное объяснение, объединяющее несколько гипотез и законов.

Таким образом, процесс создания концептуальных фреймворков и прогнозов тесно связан с другими процессами: использует определения, вопросы и наблюдения, а также предоставляет материал для последующего формального анализа в процессе исследования и для планирования дальнейшей деятельности в рамках создания дизайна. Создание фреймворков не просто оформляет знание – оно задает структуру, в рамках которой знание может быть проверено, уточнено и воспроизведено.

6. *Публикация* – это процесс структуризации накопленного научного знания в форме, пригодной для передачи другим исследователям и включения в дальнейшую научную деятельность. Это не просто фиксация результатов – публикация замыкает цикл процессов воспроизводимого исследования, обеспечивая внешнюю проверку, распространение и возможность повторного анализа. В методологии публикация рассматривается как процесс, основанный на двух фазах: анализе и синтезе.

– Анализ – исследователь переосмысливает накопленную Информацию, отбирая те элементы, которые подлежат передаче вовне. Этот этап включает определение того, какие наблюдения, определения, прогнозы, фреймворки и результаты исследования являются завершенными, значимыми и логически связанными между собой. Также на этом этапе оценивается, в каком виде информация может быть воспроизведена другими: рассматривается необходимость включения метрик, ссылок на данные, открытого кода и схем процессов. Анализ направлен на вычленение логически цельных блоков знаний, которые могут быть проверены и использованы независимо.

– Синтез – осуществляется структурированное оформление выбранной информации. Это может включать создание научной статьи, отчета, препринта, модели, онтологии или базы данных. Важно не только изложить суть полученного знания, но и представить его в такой форме, которая обеспечивает воспроизводимость, верифицируемость и совместимость с другими исследованиями. Здесь фиксируются определения, методы, параметры, прогнозы, исходные данные и используемые концептуальные фреймворки. Публикация может сопровождаться аннотацией, описанием модели, приложением кода или ссылкой на наборы данных, что делает возможной повторную реализацию представленного материала.

Публикация тесно связана с другими процессами. Она использует Информацию, сформированную в ходе всего исследовательского цикла: определения, наблюдения, концептуальные фреймворки, прогнозы, результаты исследования. Она может ссылаться на публикации, собранные в процессе сбора внешних источников, и, в свою очередь, становится частью Информации в других исследованиях, через механизм сбора публикаций. Кроме того, публикация может быть заранее спланирована и структурирована в процессе создания дизайна – например, как ожидаемый результат определенного этапа работы.

Таким образом, публикация – это ключевой процесс фиксации и передачи научного знания. Она завершает цикл процессов воспроизводимого исследования и одновременно создает входные данные для следующих исследований: как источник новых определений, наблюдений, вопросов и концепций. Именно через публикации наука сохраняет преемственность, устойчивость и возможность коллективного наращивания знания.

7. *Создание дизайна* – это процесс формализации и планирования будущих действий в рамках научной деятельности. В отличие от других процессов, направленных на получение, анализ или представление знания, создание дизайна выполняет управленческую функцию: оно задает структуру, последовательность и условия выполнения других процессов. Дизайн позволяет заранее определить, какие шаги будут предприняты, с какими целями и по каким правилам, обеспечивая тем самым прозрачность, согласованность и воспроизводимость научной работы. Как и другие процессы методологии, создание дизайна включает две фазы: анализ и синтез.

– Анализ – исследователь оценивает текущую структуру Информации – уже сформулированные определения, наблюдения, вопросы, концептуальные фреймворки, прогнозы, а также результаты проведенных исследований. Цель анализа – понять, какие элементы требуют развития, какие вопросы остаются открытыми, какие методы можно применить и какие ресурсы необходимы для дальнейшей работы. Также на этом этапе учитываются ограничения: технические, методологические, временные или ресурсные. Анализ направлен на осознание как потенциальных направлений исследования, так и условий их реализации.

– Синтез – формулируется структурированный план научной деятельности. Это может быть дизайн сбора наблюдений (с указанием что, как и когда фиксировать), план сбора публикаций (темы исследования, открытые вопросы, пробелы в знаниях, источники публикаций), план сбора вопросов (чек-листы, опросные листы, реестр заинтересованных лиц), план исследования (методы, входные параметры и метрики), план создания концептуальных фреймворков (открытые вопросы, список участников, повестка встреч) и план создания публикации (структура, ожидаемые результаты, формат).

Дизайн описывает цели, предполагаемые действия, используемые определения и методы, критерии оценки успеха, а также процедуры контроля качества для обеспечения воспроизведения процесса и полученных результатов. Он может быть выражен в виде протокола, схемы, документа спецификаций, технического задания или даже кода. Создание дизайна обеспечивает возможность согласования действий между членами исследовательской группы, повышает управляемость проекта, снижает вероятность ошибок и позволяет сравнивать запланированное с фактически выполненным. Кроме того, наличие формализованного дизайна существенно упрощает воспроизводимость исследования: другие исследователи могут не только повторить действия, но и критически оценить выбор методов, метрик и процедур.

Таким образом, создание дизайна – это инструмент управления научной деятельностью. Оно превращает исследование из последовательности интуитивных решений в формализованный процесс, поддающийся планированию, контролю, анализу и повторному выполнению. Именно благодаря дизайну возможна коллективная и воспроизводимая организация научной работы в условиях растущей сложности и междисциплинарности современного научного знания.

Заключение

Предложенная методология представляет собой переосмысление научного метода в условиях цифровизации, междисциплинарности и стремительного роста объемов данных. Разделение процессов и объекта исследования (Информации) позволяет формализовать этапы научной деятельности, сделать их воспроизводимыми, гибкими и совместимыми с инструментами науки о данных.

Каждый из процессов выполняет уникальную функцию в рамках методологии: сбор наблюдений и вопросов обеспечивает насыщенность информационного пространства; исследование и создание концептуальных фреймворков – аналитическую и объяснительную деятельность; публикация и сбор публикаций – интеграцию с научным сообществом; создание дизайна – управление научной деятельностью.

Методология акцентирует внимание на важности четкого определения понятий, строгой формализации, интерпретируемости и проверяемости научных результатов. Она сохраняет преемственность классического научного метода, одновременно расширяя его за счет вычислительных и информационных практик науки о данных. Таким образом, предложенная методология может служить основой для построения воспроизводимых, масштабируемых и теоретически обоснованных научных программ будущего.

Дальнейшее развитие методологии может включать разработку инструментов автоматизации для документирования каждого из процессов, создание онтологий для формализованного описания информационных сущностей, а также интеграцию с платформами открытой науки и воспроизводимых вычислений. Также перспективным является применение методологии в образовательной среде – для формирования у исследователей системного понимания научной деятельности и навыков проведения воспроизводимых исследований.

Список литературы

1. Ezer D., Whitaker K. Data science for the scientific life cycle // *Nature Methods*. 2019. Vol. 16, Is. 7. P. 541–545. URL: DOI: 10.7554/eLife.43979 (дата обращения: 01.02.2025).
2. Carballo-Meilan A., McDonald L., Pragot W., Starowski L.M., Saleemi A.N., Waheed Afzal W. Development of a Data-Driven Scientific Methodology // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2022. Vol. 227. Article ID: 104589. DOI: 10.1016/j.chemolab.2022.104555.
3. Stadelmann T., Klamt T., Merkt P.H. Data Centricism and the Core of Data Science // *Philosophy & Technology*. 2022. Vol. 8, Is. 2.; URL: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000143637> (дата обращения: 01.02.2025). DOI: 10.5445/IR/1000143637.
4. Peters D.P.C., Havstad K.M., Cushing J., Tweedie C., Fuentes O., Villanueva-Rosales N. Harnessing the power of big data: infusing the scientific method with machine learning to transform ecology // *Ecosphere*. 2014. Vol. 5, Is. 6. Article ID: art. 67. DOI: 10.1890/ES13-00359.1.
5. Elliott K.C., Cheruvil K.S., Montgomery G.M., Sorano P.A. Conceptions of Good Science in Our Data-Rich World // *BioScience*. 2016. Vol. 66, Is. 10. P. 880–889. DOI: 10.1093/biosci/biw115.
6. Succi S., Coveney P.V. Big data: the end of the scientific method? // *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2019. Vol. 377, Is. 2142. Article ID: 20180145. DOI: 10.1098/rsta.2018.0145.
7. Deshpande D., Chhugani K., Ramesh T., Pellegrini M., Shiffman S., Abedalthagafi M.S., Alqahtani S., Ye J., Liu X.S., Leek J.T., Brazma A., Ophoff R.A., Rao G., Butte A.J., Moore J.H., Katritch V., Mangul S. The evolution of computational research in a data-centric world // *Cell*. 2024. Vol. 187, Is. 17. P. 4449–4457. DOI: 10.1016/j.cell.2024.07.045.
8. Maskey M. Rethinking AI for Science: An Evolution From Data-Driven to Data-Centric Framework // *Perspectives of Earth and Space Scientists*. 2023. Vol. 4, Is. 1. Article ID: e2023CN000222. DOI: 10.1029/2023CN000222.
9. Ramachandran R., Bugbee K., Murphy K. From Open Data to Open Science // *Earth and Space Science*. 2021. Vol. 8, Is. 5. Article ID: e2020EA001562. DOI: 10.1029/2020EA001562.
10. O'Brien E., Mick J. In the Academy, Data Science Is Lonely: Barriers to Adopting Data Science Methods for Scientific Research // *Harvard Data Science Review*. 2024. Vol. 6, Is. 2. DOI: 10.1162/99608f92.7ca04767.
11. 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. DOI: 10.1162/99608f92.9624ea51.
12. Stodden V. The data science life cycle: a disciplined approach to advancing data science as a science // *Commun. ACM*. 2020. Vol. 63, Is. 7. P. 58–66. DOI: 10.1145/3360646.
13. Karpatne A., Atluri G., Faghmous J.H., Steinbach M., Banerjee A., Ganguly A., Shekhar S., Samatova N., Kumar V. Theory-Guided Data Science: A New Paradigm for Scientific Discovery from Data // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2017. Vol. 29, Is. 10. P. 2318–2331. DOI: 10.1109/TKDE.2017.2720168.
14. Borrego A., Dessi D., Ayala D., Hernández I., Osborne F., Reforgiato Recupero D., Buscaldi D., Ruiz D., Motta E. Research hypothesis generation over scientific knowledge graphs // *Knowledge-Based Systems*. 2025. Vol. 315. Article ID: 113280. DOI: 10.1016/j.knosys.2025.113280.
15. Ciardi T.G., Nihar A., Chawla R., Akanbi O., Tripathi P.K., Wu Y., Chaudhary V., French R.H. Materials data science using CRADLE: A distributed, data-centric approach // *MRS Communications*. 2024. Vol. 14, Is. 4. P. 601–611. DOI: 10.1557/s43579-024-00616-6.

УДК 004.412

DOI 10.17513/snt.40363

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕБ-ГРАФИКИ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

¹Готская И.Б., ²Абрамов В.С.¹*Российский государственный педагогический университет им. А. Герцена,
Санкт-Петербург, e-mail: iringot@mail.ru;*²*Университет ИТМО, Санкт-Петербург, e-mail: vadim-abramov-00@mail.ru*

Статья посвящена разработке инструмента для наблюдения за производительностью веб-графики, направленного на рациональное использование ресурсов информационно-технологической инфраструктуры организаций. Актуальность исследования обусловлена стремительным ростом использования графически насыщенных веб-приложений в корпоративной среде, что приводит к увеличению нагрузки на вычислительные ресурсы и требует более точного контроля за их использованием. Отсутствие универсальных и доступных средств мониторинга затрудняет своевременное выявление узких мест сценариев использования графических компонентов, что влечет за собой рост эксплуатационных затрат и снижение устойчивости систем. Цель работы – создание программного обеспечения и метода, позволяющего анализировать нагрузку на ресурсы, выявлять слабые места в работе приложений. Рассмотрены ключевые аспекты внедрения системы наблюдения в контексте корпоративных информационно-технологических систем. Основное внимание уделено проектированию архитектуры расширения для браузера, способного отслеживать выполнение команд, собирать данные о производительности (время обработки, использование памяти, загрузку устройств). Описан механизм взаимодействия между изолированными частями в браузере, включая настройку конфигурации и организацию обмена данными между процессами. Создана система наблюдения, предоставляющая инструменты для анализа работы приложений, изучения кода и оценки нагрузки на устройства в реальном времени. Разработанное решение позволяет организациям рационально использовать ресурсы за счет детального анализа производительности приложений. Система помогает сократить затраты на инфраструктуру, выявляя избыточное потребление ресурсов, и обеспечивает основу для прогнозной аналитики. Внедрение инструмента способствует устойчивому развитию веб-графических сервисов в корпоративной среде, сочетая глубокую техническую диагностику с практическими задачами оптимизации информационных технологий.

Ключевые слова: инструмент разработчика, веб-графика, браузер, графика, управление ресурсами, мониторинг

A UNIVERSAL APPROACH TO MONITORING THE PERFORMANCE OF WEB GRAPHICS IN THE INFORMATION TECHNOLOGY INFRASTRUCTURE

¹Gotskaya I.B., ²Abramov V.S.¹*Herzen Russian State Pedagogical University, St. Petersburg, e-mail: iringot@mail.ru;*²*ITMO University, St. Petersburg, e-mail: vadim-abramov-00@mail.ru*

The article is devoted to the development of a tool for monitoring the performance of web graphics, aimed at the rational use of resources of information technology infrastructure of organizations. The relevance of the research is due to the rapid growth of the use of graphically rich web applications in the corporate environment, which leads to an increase in the load on computing resources and requires more accurate control over their use. The lack of universal and accessible monitoring tools makes it difficult to timely identify bottlenecks of scenarios of graphical components utilization, which entails an increase in operating costs and a decrease in the stability of systems. The aim of the work is to create software and a method that allows analyzing the load on resources, identifying weak points in the work of applications. Key aspects of surveillance system implementation in the context of corporate information technology systems are considered. The main attention is paid to the design of browser extension architecture capable of tracking command execution, collecting performance data (processing time, memory usage, device load). The mechanism of interaction between isolated parts in the browser is described, including configuration setup and organization of data exchange between processes. A surveillance system is created that provides tools for analyzing application performance, examining code, and estimating device load in real time. The solution enables organizations to use resources efficiently through detailed analysis of application performance. The system helps reduce infrastructure costs by identifying excessive resource consumption and provides a basis for predictive analytics. Implementation of the tool promotes sustainable development of web-graphic services in the corporate environment, combining deep technical diagnostics with practical tasks of information technology optimization.

Keywords: developer's tool, web- graphic, browser, graphics, resource management, monitoring

Введение

Современные ИТ-инфраструктуры организаций сталкиваются с растущей нагрузкой, вызванной миграцией приложений в веб-среду, а также активной разработкой

нового программного обеспечения для нее. Веб-графика, включая такие технологии, как WebGPU (Web Graphics Processing Unit – технология для рендеринга графики в браузерах и выполнения вычислений на GPU

(Graphics Processing Unit – графический процессор)), становится ключевым элементом для высокопроизводительных решений – от интерактивных аналитических панелей до сложных приложений и виртуальных рабочих пространств [1]. Однако интенсивное использование графических ресурсов в браузерах создает риски перегрузки GPU, неэффективного распределения вычислительных мощностей и роста эксплуатационных затрат. В таких условиях мониторинг производительности веб-графики превращается в критический компонент управления ИТ-ресурсами, обеспечивающий прозрачность использования оборудования, прогнозирование нагрузок и оптимизацию инфраструктуры.

Несмотря на активное развитие WebGPU как преемника WebGL, инструменты для анализа его работы остаются ограниченными [2]. Существующие решения браузеров фокусируются на отладке кода, но игнорируют задачи мониторинга в масштабах организации: сбор метрик потребления GPU, анализ распределения ресурсов между приложениями, интеграцию с системами управления инфраструктурой. На сегодняшний день наиболее известными open source решениями для отслеживания работы WebGPU являются WebGPU DevTools [3] и WebGPU recorder [4]. Однако новых версий первой утилиты не вышло с 2023 года, что означает отсутствие метрик для новых версий API. Другой же аналог более современный, но не имеет функционала для работы с внешними сервисами и не способен масштабироваться в случае большого количества событий. Упомянутые инструменты предоставляют базовую функциональность для перехвата вызовов интерфейса и последующего анализа узких мест, но не способны работать в контексте корпоративных систем. Это создает пробел в средах, где неконтролируемый анализ и отсутствие возможности прогнозирования нагрузки на графические процессоры могут привести к простоям, увеличению затрат на оборудование и снижению производительности критически важных сервисов.

В данной работе представлен усовершенствованный метод мониторинга веб-графики, который был реализован при разработке приложения для системы анализа и отслеживания видеопамати. Помимо функционала просмотра кода шейдеров и ошибок, отслеживания процесса рендеринга, утилита предоставляет возможности для учета общей задействованной видеопамати, отслеживания API на протяжении всего процесса работы, отправки собранной

информации во внешние сервисы для последующего анализа; также предложен более универсальный метод отслеживания событий. Разработанное решение направлено на устранение разрыва между техническими возможностями WebGPU и операционными требованиями организаций и обеспечивает баланс между инновациями в веб-графике и устойчивостью ИТ-инфраструктуры.

Современные инструменты отладки браузеров предоставляют широкий спектр возможностей для анализа и оптимизации веб-приложений. Эти инструменты позволяют инспектировать DOM (Document Object Model), отлаживать JavaScript код, анализировать сетевые запросы, профилировать производительность и визуализировать время выполнения кода [5]. Однако они имеют ряд ограничений в контексте мониторинга графики WebGPU, что делает их недостаточными для полноценного анализа производительности и оптимизации ресурсов в корпоративных ИТ-средах. WebGPU – это относительно новая технология, и существующие инструменты отладки не предоставляют встроенной поддержки для анализа ее работы. DevTools Chrome и Firefox Developer Tools ориентированы на WebGL [6]. Существующие open source решения, такие как WebGPU DevTools от Hoodgail Benjamin и Takahiro, способны закрыть ряд требований, однако их функционала не хватает для использования в корпоративных системах, так как они не способны проводить анализ собранных данных и отправлять итоговую статистику во внешние сервисы. Также недостатком разработанного инструмента является отслеживание работы интерфейса лишь первые 50 кадров, что делает невозможным сбор данных на протяжении долгого времени.

Для устранения ограничений существующих инструментов отладки и обеспечения полноценного мониторинга графики требуется разработка специализированного программного обеспечения, которое сможет интегрироваться с браузером на уровне его архитектуры. Одним из таких подходов является использование content и background скриптов, которые позволяют обойти ограничения встроенных утилит и обеспечить сбор данных о производительности WebGPU. Эти скрипты работают в изолированных контекстах браузера, что дает им возможность взаимодействовать с WebGPU API, собирать метрики и передавать их в системы мониторинга, недоступные для стандартных инструментов отладки.

Content-скрипт выполняется в контексте веб-страниц, предоставляет доступ к DOM и контексту веб-приложения [7]. Это позво-

ляет отслеживать параметры рендеринга, потребление видеопамати и выполнение шейдеров. В рамках мониторинга он выступает как агент сбора данных: фиксирует события GPU, слушает вызовы API и передает сырые метрики через защищенные каналы связи в background-скрипт для последующей агрегации.

Благодаря работе в изолированном окружении [8] background-скрипт обеспечивает безопасность данных и выполняет функцию модуля обработки. Он анализирует полученные метрики, добавляет метаданные (идентификатор устройства, время выполнения) и форматирует статистику для интеграции с внешними системами мониторинга. Также он управляет передачей информации в корпоративные хранилища.

Взаимодействие скриптов через API chrome.runtime обеспечивает безопасный обмен данными, соответствующий требованиям корпоративной безопасности [9]. Например, content-скрипт передает только структурированные метрики, исключая доступ к чувствительным данным пользователя, а background-скрипт шифрует информацию перед отправкой в облачные сервисы. Работа скриптов в отдельном изолированном потоке позволила обеспечить защиту полученных данных от внешнего вмешательства и не нагружать основной поток, что могло бы повлиять на итоговые метрики.

Для отслеживания событий API в упомянутом ранее решении используется метод декорирования, что дает возможность реализовать дополнительную логику поверх исходного кода без его изменения. Однако данный подход имеет ряд существенных минусов:

- создание оберток для каждой функции требует больших усилий, так как API содержит множество методов. Это усложняет разработку и повышает риск ошибок [10];
- изменения в API требуют ручного обновления оберток [11], что усложняет поддержку кода, особенно учитывая его активное развитие;
- обертки добавляют дополнительный слой вызовов, что может снижать производительность, особенно в критичных для рендеринга операциях [12].

Цель исследования – разработать усовершенствованный и универсальный метод мониторинга для WebGPU, позволяющий оценивать использование графических ресурсов в реальном времени.

Материалы и методы исследования

В исследовании применен комбинированный подход, включающий анализ

ограничений существующих средств отладки и open source решений, а также разработку специализированного расширения для мониторинга WebGPU. На основе анализа встроенных браузерных инструментов предложен процесс обмена сообщениями, использующий связку content- и background-скриптов для сбора и передачи метрик производительности. В качестве основного метода отслеживания использовано проксирование, позволяющее автоматически прослушивать вызовы API без ручной обработки и с учетом будущих изменений. Для передачи данных между контекстами реализована интервальная группировка событий, снижающая нагрузку на сеть.

Результаты исследования и их обсуждение

С учетом выявленных недостатков был реализован метод проксирования, который отслеживает все свойства переданного объекта, способен динамически мониторить новые функции и удалять обработчики для уже не актуальных. Это позволило отслеживать взаимодействия с API без ручного создания дополнительных оберток, уменьшило количество кода, а также дало возможность учитывать любые изменения в будущих версиях технологии.

Преимущества:

- один обработчик заменяет множество оберток;
- новый метод API автоматически перехватывается без изменений в коде;
- минимизируется риск пропущенных вызовов и ошибок;
- прокси отслеживают все обращения к объектам и их свойствам.

Детализация метода прослушивания с использованием метода проксирования:

- 1) осуществляется связка прокси обработчика и отслеживаемого объекта (WebGPU);
- 2) прокси отслеживает вызовы всех методов, фиксируя начальное время выполнения и переданные аргументы;
- 3) в процессе работы регистрируются ключевые параметры, такие как использование видеопамати, время, затраченное на рендер одного кадра, текущая частота кадров и количество вызовов, что помогает выявлять узкие места в рендеринге;
- 4) после выполнения метода прокси отправляет собранные данные в background-скрипт для агрегирования и интеграции с системами мониторинга. Также на уровне прокси происходит перехват ошибок.

Для обеспечения передачи данных о вызовах API между изолированными средами (веб-приложение и расширение) был разработан подход обмена сообщениями на осно-

ве пользовательских событий, который позволил преодолеть ограничения изоляции контекстов, обеспечивая надежную передачу метрик производительности в систему мониторинга. Этапы обмена следующие.

1. Генерация событий на стороне веб-приложения

При вызове проксированного метода override-скрипт создает пользовательское событие, содержащее всю необходимую информацию: аргументы вызова, временные метки, идентификаторы контекста и другие параметры. Оно регистрируется в DOM веб-страницы, что позволяет content-скрипту получить доступ к данным, не нарушая изоляцию контекстов.

2. Перехват событий в content-скрипте

Content-скрипт, работающий в контексте веб-страницы, прослушивает пользовательские события и извлекает из них данные о вызовах API. Так как интерфейс способен генерировать большое количество событий, то передача информации о каждом может не только существенно понизить работу самой утилиты, но и загрузить сеть устройства. Для решения этой проблемы разработан метод интервальной группировки, при которой события накапливаются 1 раз в 16 миллисекунд (примерно 1 кадр при 60 FPS), и после окончания таймера накопленные данные передаются в background-скрипт.

3. Обработка данных в background-скрипте

Background-скрипт, выполняющийся в изолированной среде расширения, получает сообщения от content-скрипта и агрегирует их. На этом этапе данные обогащаются дополнительной информацией (например, идентификатором сессии или метаданными устройства).

4. Ожидание сообщений в коде расширения

Код расширения ожидает сообщений от background-скрипта, что позволяет синхронизировать данные между средами и обеспечивает непрерывный поток метрик для анализа изменения использования памяти во времени. Схема процесса сбора данных представлена на рисунке.

Для передачи дополнительных данных в объект события используется интерфейс CustomEvent, который позволяет включать пользовательскую информацию через свойство detail [13]. Это дает возможность обеспечить гибкость в передаче метрик производительности WebGPU без необходимости изменения структуры события. Поскольку механизм передачи пользовательских событий реализован во всех современных браузерах, разработанное решение поддерживается на различных операционных системах (Windows, macOS, Linux) и устройствах (десктопах, мобильных устройствах) [14]. Это особенно важно для организаций с разнородной ИТ-инфраструктурой.

Так как требуется непрерывный процесс мониторинга в режиме реального времени, возникла необходимость в реализации механизма динамического управления памятью. Для решения этой задачи в рамках content-скрипта был создан специализированный класс-наблюдатель. Этот класс использует API MutationObserver для отслеживания следующих событий: закрытие страницы, удаление экземпляров WebGPU и появление новых. Класс-наблюдатель использует слабые ссылки для хранения, что позволило избежать утечек памяти, а также указывать сборщику мусора на неактуальные данные.

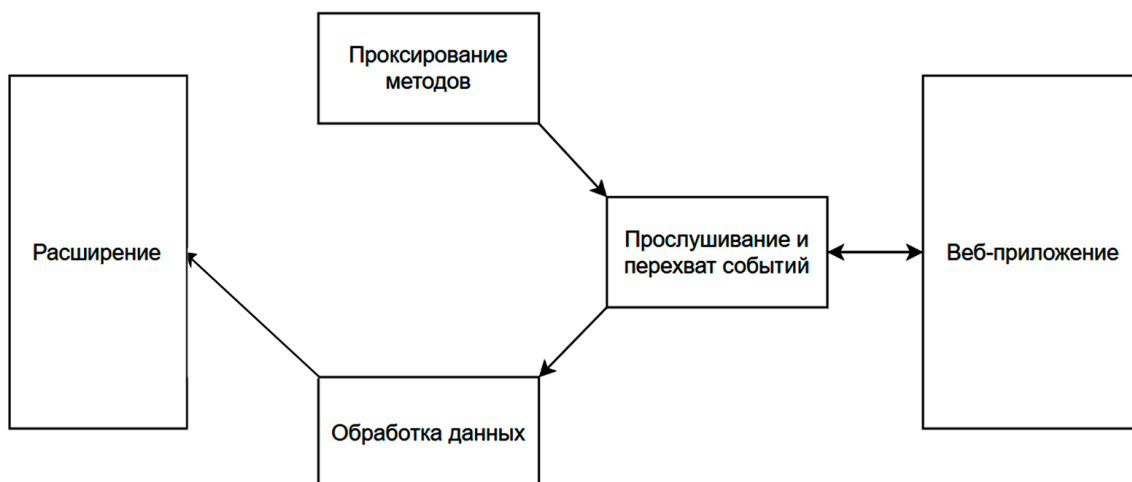


Схема процесса сбора данных
Источник: составлено авторами

Сравнение разработанного приложения с аналогами

Возможности приложения	Приложение WebGPU recorder	Приложение WebGPU devtools	Разработанное приложение
Сбор основных метрик (память, частота кадров, скорость выполнения)	Реализовано	Реализовано	Реализовано
Способ отслеживания событий	Декарирование	Декарирование	Проксирование
Режим мониторинга	Весь процесс работы приложения	Первые 50 секунд работы приложения	Весь процесс работы приложения
Совместимость с версиями WebGPU	Версия выпуска 2024 года	Версия выпуска 2023 года	Любые версии
Выгрузка данных в другие сервисы	Отсутствует	Отсутствует	Реализовано
Обработка большого количества событий	Отсутствует	Отсутствует	Реализовано
Предотвращение утечек памяти	Отсутствует	Отсутствует	Реализовано

Примечание: составлено авторами

Интерфейс расширения создан с помощью библиотеки React. Она представляет собой открытый программный инструмент, разработанный для создания пользовательских интерфейсов веб-приложений. React базируется на принципе компонентного подхода, что позволяет разбивать интерфейс на небольшие независимые компоненты, управляемые данными, что предоставляет эффективный и декларативный способ создания интерфейсов путем использования JavaScript и JSX [15]. Компоненты похожи на функции JavaScript, они выполняют ту же задачу, но в другой среде и с другим подходом. Компоненты принимают входные данные, известные как props, и возвращают их в виде элементов React, которые можно увидеть на экране пользователя [16].

Одним из ключевых преимуществ является виртуальный DOM, который позволил эффективно обновлять только измененные части интерфейса вместо полного перерисовывания всего дерева DOM [17]. Это повышает производительность приложений, улучшает пользовательский опыт и сокращает потребляемые ресурсы при обновлении экрана. Сравнение разработанного приложения с аналогами представлено в таблице.

Выводы

Созданное программное обеспечение имеет следующие возможности:

- динамический метод непрерывного мониторинга событий WebGPU;
- механизм интеграции для отправки данных в системы аналитики;
- интервальная группировка событий;
- отслеживание ошибок и учет общей использованной видеопамяти.

Метод проксирования, используемый для отслеживания вызовов API, упростил процесс мониторинга, позволяя автоматически перехватывать все новые функции API без необходимости в ручной настройке. Это снизило вероятность ошибок и сделало систему более гибкой в условиях изменений в версиях WebGPU. Применение интервальной группировки событий дало возможность оптимизировать использование видеопамяти и сократить эксплуатационные затраты.

Таким образом, предложенное решение является шагом вперед в области мониторинга веб-графики и может быть эффективно использовано в корпоративных ИТ-системах для повышения стабильности и производительности сервисов, а также для оптимизации расходования ресурсов.

Список литературы

1. Usher W., Pascucci V. Interactive visualization of terascale data in the browser: Fact or fiction? // IEEE 10th Symposium on Large Data Analysis and Visualization (LDAV). IEEE, 2020. P. 27-36. DOI: 10.1109/LDAV51489.2020.00010.
2. Scarpino M. The WebGPU Sourcebook: High-Performance Graphics and Machine Learning in the Browser. CRC Press, 2024. DOI: 10.1201/9781003422839.
3. WebGPU devtools // GitHub [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/takahirox/webgpu-devtools> (дата обращения: 15.02.2025).
4. WebGPU recorder // GitHub [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/brendan-duncan/webgpu_recorder (дата обращения: 19.02.2025).
5. García B., Ricca F., del Alamo J.M., Leotta M. Enhancing web applications observability through instrumented automated browsers // Journal of Systems and Software. 2023. T. 203. P. 111723. DOI: 10.1016/j.jss.2023.111723.
6. Верхотурова Г.Н., Киселев А.В. Технологии 3D-графики в web-приложениях // Системная инженерия и информационные технологии. 2021. Т. 3, № 1 (5). С. 96-103. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45771136> (дата обращения: 01.02.2025).

7. Solomos K., Llia P., Karami S., Nikiforaks N., Polakis J. The dangers of human touch: fingerprinting browser extensions through user actions // 31st USENIX Security Symposium (USENIX Security 22). 2022. P. 717-733. URL: <https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity22/presentation/solomos> (дата обращения: 20.02.2025).
8. Yu J., Li S., Zhu J., Cao Y. CoCo: Efficient Browser Extension Vulnerability Detection via Coverage-guided, Concurrent Abstract Interpretation // Proceedings of the 2023 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. 2023. P. 2441-2455. DOI: 10.1145/3576915.3616584.
9. Moreno J.M., Vallina-Rodriguez N., Tapiador J. Did I Vet You Before? Assessing the Chrome Web Store Vetting Process through Browser Extension Similarity. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2406.00374.
10. Шмаков С.Э., Щенникова Е.В., Определенцева А.Е. Взаимодействие паттернов проектирования для эффективной web-разработки // Ученые записки УлГУ. Серия: Математика и информационные технологии. 2021. № 2. С. 90-96. URL: <https://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jrnid=ulsu&paperid=56&what=fullt> (дата обращения: 01.02.2025).
11. Alkhaeir T., Walter B. The effect of code smells on the relationship between design patterns and defects // IEEE Access. 2020. Т. 9. P. 3360-3373. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3047870.
12. Ngaogate W. Memory Usage Comparison in an Android Application: Basic Object-Oriented Programming vs Decorator Design Pattern: Coding styles for keeping low memory usage in a mobile application // Proceedings of the 4th International Conference on Information Technology and Computer Communications. 2022. P. 125-131. DOI: 10.1145/3548636.3548655.
13. Seo D., Yoo B. Interoperable information model for geovisualization and interaction in XR environments // International Journal of Geographical Information Science. 2020. Т. 34, №. 7. P. 1323-1352. DOI: 10.1080/13658816.2019.1706739.
14. Lin K., Cao H., Fard A.M. Browser Fingerprint Detection and Anti-Tracking. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2502.14326.
15. Ибрагимов Т.Ф., Ференц А.А. Автоматическое аннотирование html-документов по стандарту Microdata // Электронные библиотеки. 2024. Т. 27, № 5. С. 730-744. DOI: 10.26907/1562-5419-2024-27-5-730-744.
16. Jartarghar H.A., Salanke G., Kumar A. Sharvani G.S, Dalali S. React apps with Server-Side rendering: Next.js // Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC). 2022. Т. 14, №. 4. P. 25-29. DOI: 10.54554/jtec.2022.14.04.005.
17. Шогенов А.М. Исследование архитектуры микророндента: инструменты и рекомендации для использования // Актуальные исследования. 2023. С. 24. DOI: 10.5281/zenodo.8394227.

УДК 004.942:615.015.8
DOI 10.17513/snt.40364

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ PYPHARM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАРМАКОКИНЕТИКИ ПОРФИРИН-ФУЛЛЕРЕНОВЫХ НАНОЧАСТИЦ

Крашенинников Р.С., Митричев И.И., Фурсов В.В.

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»,
Москва, e-mail: krasheninnikov.r.s@muctr.ru, mitrichev.i.i@muctr.ru, vfursov@mail.ru

В статье представлен подход к моделированию фармакокинетики гибридных наночастиц порфирина-фуллеренового типа с использованием библиотеки PyPharm. Основной упор сделан на интеграцию эволюционных алгоритмов, в частности алгоритма взаимодействующих стран, в PyPharm, что позволяет оптимизировать параметры фармакокинетических моделей в условиях высокой вариативности. Целью данной работы является совершенствование существующей пятикамерной модели фармакокинетики гибридных наночастиц порфирина-фуллеренового типа с использованием библиотеки PyPharm, основной акцент сделан на повышении точности прогнозирования распределения наночастиц в организме за счет структурной и алгоритмической модификации модели. На основе пятикамерной модели, предложенной ранее, проведена доработка с учетом объемов камер и введением камер-дублеров, что позволило улучшить точность аппроксимации экспериментальных данных. Показано, что модель с камерами-дублерами демонстрирует наименьшее значение целевой функции ($F = 0.9$), сократив ошибку предсказания в 4,5 раза по сравнению с исходными результатами. Камеры-дублеры при этом имитируют окружающие орган ткани, где лекарственный препарат или наночастицы могут находиться длительное время, поддерживая почти постоянный уровень лекарства в основной камере органа в течение долгого времени. Библиотека PyPharm подтвердила свою эффективность при работе с высокопараметрическими системами (до 19 переменных), включая возможность учета весовых коэффициентов для отдельных экспериментальных точек, что повысило гибкость анализа. Результаты исследования подчеркивают потенциал применения алгоритма взаимодействующих стран и разработанной библиотеки для задач фармакокинетики.

Ключевые слова: фармакокинетическое моделирование, порфирина-фуллереновые наночастицы, PyPharm, эволюционные алгоритмы, оптимизация параметров

USING THE PYPHARM LIBRARY FOR PHARMACOKINETIC MODELING OF PORPHYRIN-FULLERENE NANOPARTICLES

Krasheninnikov R.S., Mitrichev I.I., Fursov V.V.

Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow,
e-mail: krasheninnikov.r.s@muctr.ru, mitrichev.i.i@muctr.ru, vfursov@mail.ru

The article presents an approach to modeling the pharmacokinetics of porphyrin-fullerene hybrid nanoparticles using the PyPharm library. The main focus is on the integration of evolutionary algorithms, in particular the algorithm of interacting countries, into PyPharm, which makes it possible to optimize the parameters of pharmacokinetic models in conditions of high variability. The aim of this work is to improve the existing five-compartment model of the pharmacokinetics of porphyrin-fullerene hybrid nanoparticles using the PyPharm library, with the main focus on improving the accuracy of predicting the distribution of nanoparticles in the body through structural and algorithmic modification of the model. Based on the five-compartment model proposed earlier, improvements were made taking into account the volume of cameras and the introduction of backup cameras, which improved the accuracy of approximating experimental data. It is shown that the model with backup cameras demonstrates the lowest value of the objective function ($F = 0.9$), reducing the prediction error by 4.5 times compared with the initial results. At the same time, the stand-in chambers simulate the tissues surrounding the organ, where the drug or nanoparticles can stay for a long time, maintaining an almost constant level of the drug in the main chamber of the organ for a long period of time. The PyPharm library has proven its effectiveness when working with highly parametric systems (up to 19 variables), including the ability to take into account weighting coefficients for individual experimental points, which increased the flexibility of the analysis. The results of the study highlight the potential of using the algorithm of interacting countries and the developed library for pharmacokinetic tasks.

Keywords: pharmacokinetic modeling, porphyrin-fullerene nanoparticles, PyPharm, evolutionary algorithms, parameter optimization

Введение

Фармакокинетика (ФК) – ключевая дисциплина в доклинических и клинических исследованиях, изучающая динамику абсорбции, распределения, метаболизма и экскреции (ADME) лекарственных веществ

в организме [1, с. 30–31]. В условиях роста затрат на разработку препаратов и ужесточения регуляторных требований, фармакокинетическое моделирование становится незаменимым инструментом для оптимизации процессов создания новых терапевти-

ческих агентов [2; 3]. Современные вычислительные методы позволяют прогнозировать поведение лекарств *in silico*, сокращая время и ресурсы, затрачиваемые на эксперименты *in vitro* и *in vivo*. Фармакокинетическое моделирование позволяет добиться оптимизировать и персонализировать дозировки, а также спрогнозировать риск лекарственных взаимодействий [4; 5].

Основными методами моделирования фармакокинетики лекарственного вещества являются компартментные (камерные) модели и физиологически обоснованные (перфузионные) модели.

Компартментные модели основаны на абстрактном представлении организма как системы взаимосвязанных гомогенных камер, где каждая камера символизирует условную часть организма (например, плазма крови, внеклеточная жидкость, ткани с медленным кровотоком или отдельные органы). Ключевое допущение метода – достижение кинетической гомогенности внутри камеры, что подразумевает мгновенное и равномерное распределение препарата в пределах выделенного объема [6]. Математически такие модели описываются системами обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), где параметры (константы скоростей переноса, объемы распределения) оцениваются методом наименьших квадратов на основе экспериментальных данных. Преимущество подхода – простота реализации и низкие вычислительные затраты, что делает его популярным для анализа данных I/II фаз клинических испытаний [7].

Физиологически обоснованные модели используют принципиально иную парадигму, воспроизводя анатомо-физиологическую структуру организма. Модель включает реалистичные параметры, что позволяет прогнозировать фармакокинетику с учетом межорганных взаимодействий, пола, возраста и патологий. Например, РВРК-модели успешно применяются для экстраполяции данных с животных на человека и оценки лекарственных взаимодействий [7]. В рамках данной работы используется компартментный подход ввиду его простоты, но при этом достаточной эффективности.

В рамках компартментного подхода к фармакокинетическому моделированию простейшей структурой является однокамерная модель, предполагающая, что весь организм представлен единой гомогенной системой, взаимодействующей с внешней средой через процессы абсорбции и элиминации [8]. Для более детального описания пространственно-временного распре-

деления лекарств используются многокамерные. Камеры при этом не обязательно соответствуют анатомическим структурам, а отражают условные зоны с разной скоростью переноса вещества. Наибольшее практическое значение имеет двухкамерная модель, разделяющая организм на центральную камеру (плазма крови, быстро перфузируемые органы) и периферическую камеру (медленно насыщаемые ткани) [9]. Применяются и модели с большим числом камер.

Целью исследования является совершенствование существующей пятикамерной модели фармакокинетики гибридных наночастиц порфирин-фуллеренового типа с использованием библиотеки PyPharm, основной акцент сделан на повышение точности прогнозирования распределения наночастиц в организме за счет структурной и алгоритмической модификации модели.

Материалы и методы исследования

Моделирование фармакокинетики порфирин-фуллереновых наночастиц (РМС-16)

В качестве материала были выбраны низкотоксичные (ЛД₅₀ = 896 мг/кг, крысы, в/в) порфиринсодержащие наночастицы на основе фуллерена C₆₀ (РМС-16) [10; 11]. Эти частицы способны высвобождать изотоп магния [²⁵Mg²⁺], который имеет потенциал для снижения тканевой гипоксии различного генеза [11].

Рассматривалось моделирование *in silico* фармакокинетики порфирин-фуллереновых наночастиц в организме крыс после однократного внутривенного введения. Авторами работы [11] предложена пятикамерная (рис. 1) модель для описания распространения лекарственного вещества в организме, таргетированного для лечения ишемического инсульта. Наночастицы после введения распространяются через кровь и попадают в органы. Константы со знаком «+» отражают процесс доставки вещества в тот или иной орган, а константы со знаком «-» отражают вывод вещества из органа. Так, например, константа k_{h+} характеризует скорость доставки РМС-16 в сердце, а k_{h-} отвечает за вывод вещества из сердца обратно в кровь. За элиминацию вещества из крови отвечает константа k_e , за вывод через печень – k_{l-} . Поскольку РМС-16 проникает с другой скоростью в область инсульта, чем в здоровую область мозга, введение компартмента «межклеточное пространство» позволяет учесть величину поражения мозга при ишемическом инсульте через константу k_{is+} [12].

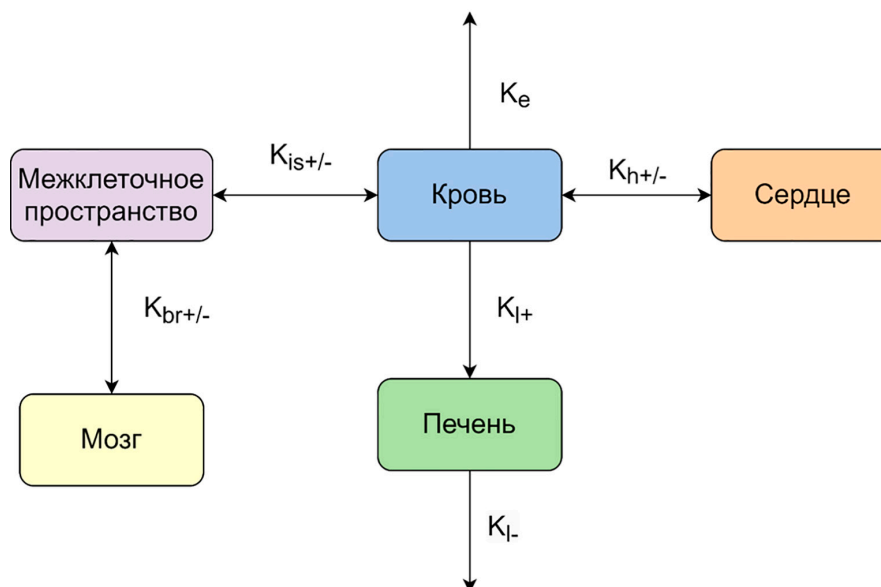


Рис. 1. Пятикамерная модель, описывающая фармакокинетику порфири-фуллереновых наночастиц в организме крыс
Источник: составлено авторами на основе [12]

Модель, предложенная авторами, была описана при помощи системы дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dC_b}{dt} = -k_e C_b - k_{l+} C_b - k_{h+} C_b - k_{is+} C_b + k_{h-} C_h + k_{is-} C_{is} \\ \frac{dC_l}{dt} = k_{l+} C_b - k_{l-} C_l \\ \frac{dC_h}{dt} = k_{h+} C_b - k_{h-} C_h \\ \frac{dC_{is}}{dt} = k_{is+} C_b - k_{br+} C_{is} - k_{is-} C_{is} + k_{br-} C_{is} \\ \frac{dC_{br}}{dt} = k_{br+} C_{is} - k_{br-} C_{br} \end{array} \right. , \quad (1)$$

где C_b , C_p , C_h , C_{is} , C_{br} отражают концентрации наночастиц в крови, печени, сердце, межклеточном пространстве головного мозга и клетках мозга соответственно.

В качестве наборов данных использовались средние значения концентрации РМС-16 в органах – сердце, печени и клетках мозга животного и крови (всего 4 набора данных) в моменты времени $t = 0,25; 0,5; 1; 4; 8; 24$ ч, при однократном введении в дозе 20 мг/кг. Подробнее данные *in vivo* эксперимента приведены в [12] (число животных $n = 5$). Модель авторов приемлемо описывает кривые высвобождения, однако имеет некие недостатки, в большей степени свя-

занные с непопаданием в пики и конечные значения экспериментальных данных. Целью данного исследования была доработка существующей модели с использованием библиотеки PyPharm.

Библиотека для моделирования фармакокинетики PyPharm

В процессе исследования была разработана программная библиотека PyPharm [13], которая предоставляет инструменты для моделирования многокамерных систем и выполнения параметрической оптимизации на основе реальных экспериментальных данных.

Основными особенностями библиотеки являются:

1. Использование методов и объектов классических библиотек, используемых для математических расчетов на языке Python – `numpy` и `scipy`.

2. Применение эволюционных алгоритмов, в том числе разработанного в ходе исследования алгоритма взаимодействующих стран для поиска неизвестных параметров моделей [14; 15].

3. Использование частичной `njit`-компиляции библиотеки `numba` для ускорения вычислительного процесса.

Для количественной оценки точности модели, а также для подбора параметров при помощи алгоритма взаимодействующих стран была использована функция

$$F = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \frac{(C_{ij}^{calc} - C_{ij}^{ex})^2}{(\overline{C_k^{ex}} - C_{ij}^{ex})^2}, \quad (2)$$

где k – количество известных наборов данных, n – количество данных в наборе, C_{ij}^{calc} – вычисленное значение для i -го набора в j -й точке, C_{ij}^{ex} – экспериментальное значение для i -го набора в j -й точке, $\overline{C_k^{ex}}$ – среднее значение по набору экспериментальных данных.

С версии 1.3.0 библиотека поддерживает работу с разделяемой памятью, что позволяет отслеживать процесс оптимизации извне исполняемого кода. Для этого используется специальное имя памяти, хранящееся в поле `memory_name` модели. Доступ к общей памяти осуществляется через класс `ShareableList` из модуля `multiprocessing`, что обеспечивает эффективное взаимодействие между различными процессами.

Все поиски оптимальных параметров моделей были произведены с использованием эволюционного алгоритма взаимодействующих стран, который был вдохновлен классическим генетическим алгоритмом, а также сорняковым и миграционными алгоритмами. В данном алгоритме решения (особи) разбиваются на группы (страны) и в дальнейшем подвергаются последовательности действий, выполняемых либо всей страной, либо отдельными индивидуумами внутри нее. Все действия алгоритма основаны на неких природно-социальных аналогах, таких как размножение, вымирание, война, эпидемия и др. При разработке алгоритм взаимодействующих стран показал свою работоспособность как на тестовых функциях, так и на задачах, связанных с моделированием фармакокинетики [14; 15].

На первом этапе при помощи библиотеки `PyPharm` была исследована авторская модель с параметрами, указанными в статье [12]. Значение целевой функции (2) для данной модели составило 4.02. Целью использования библиотеки `PyPharm` было не только сокращение значения целевой функции, но и более эффективная аппроксимация пиковых и конечных экспериментальных значений.

Результаты исследования и их обсуждение

Оптимизация параметров модели с использованием библиотеки `PyPharm`

На начальном этапе исследования была предпринята попытка использовать исходную авторскую модель без изменений и лишь оптимизировать параметры данной модели. Как и в статье авторов [12], константа элиминации k_e была зафиксирована на значении 0,077, однако дополнительно был введен параметр k_p , отвечающий за преобразование единиц измерения входной концентрации в единицы измерения выходной концентрации. Этот параметр необходим, поскольку начальная концентрация, полученная из дозы, задается в мг/мл, в этих же единицах проводится расчет, а экспериментальные данные по концентрации в органах [12] приведены в нг/мг белка S125. Оптимизация производилась с использованием класса *Magic Compartment Model* библиотеки `PyPharm`. Найденные параметры отражены в табл. 1.

Таблица 1

Значения найденных параметров для исходной модели (1)

Название параметра	Значение
k_{br+}	0,31
k_{br-}	3,42
k_{is+}	0,20
k_{is-}	0,14
k_{l+}	1,91
k_{l-}	1,34
k_{h+}	1,63
k_{h-}	0,50
k_t	5,14

Модель с параметрами, подобранными при помощи алгоритма взаимодействующих стран, существенно превосходила по точности модель с оригинальными настройками ($F = 1.35$ vs $F = 4.02$).

На втором этапе была произведена попытка улучшить результаты, учитывая при моделировании объемы камер. Данную модель также можно представить при помощи системы ОДУ:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_b \frac{dC_b}{dt} = -k_e C_b V_b - k_{l+} C_b V_b - k_{h+} C_b V_b - k_{is+} C_b V_b + k_{h-} C_h V_h + k_{is-} C_{is} V_{is} \\ V_l \frac{dC_l}{dt} = k_{l+} C_b V_b - k_{l-} C_l V_l \\ V_h \frac{dC_h}{dt} = k_{h+} C_b V_b - k_{h-} C_h V_h \\ V_{is} \frac{dC_{is}}{dt} = k_{is+} C_b V_b - k_{br+} C_{is} V_{is} - k_{is-} C_{is} V_{is} + k_{br-} C_{is} V_{is} \\ V_{br} \frac{dC_{br}}{dt} = k_{br+} C_{is} V_{is} - k_{br-} C_{br} V_{br} \end{array} \right. \quad (3)$$

Таблица 2

Значения найденных параметров для модели (3), учитывающей объемы камер

Название параметра	Значение
k_{br+}	1,08
k_{br-}	3,68
k_{is+}	0,60
k_{is-}	1,03
k_{l+}	0,17
k_{l-}	6,37
k_{h+}	0,53
k_{h-}	3,06
k_l	77,48
V_b	57,11
V_l	1,14
V_h	5,74
V_{is}	249,38
V_{br}	235,52

При изменении модели добавилось пять новых неизвестных, представляющих собой объемы камер. Поиск параметров модели, учитывающей объемы камер, также производился при помощи алгоритма эволюционных стран (табл. 2).

Модель, учитывающая объемы камер, улучшила значение целевой функции, но не существенно ($F = 1.25$). Сравнение результатов работы различных моделей приведено на рис. 2–4, которые отображают зависимость концентрации лекарственного вещества в том или ином органе от времени.

Полученные после оптимизации модели описывают данные значительно лучше исходной (значение целевой функции уменьшилось примерно на 67%), однако проблема с непопаданием модели в максимум

и в конечное значение осталась актуальной. Более того, алгоритм взаимодействующих стран подобрал значения так, что оптимизировал в основном именно те точки, которые находились в середине временного промежутка.

На следующем этапе были предложены 2 новые оригинальные модели, которые по предположениям должны были более реалистично учитывать накопление лекарственного вещества в органах. По задумке каждая камера получает дублирующую, с которой она связана входящим и выходящим потоками (4), где значения с индексом d – камеры-дублера. При этом были рассмотрены 2 варианта, когда экспериментальные данные аппроксимируются значениями из основных камер и из их дублеров.

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{dC_b}{dt} &= -k_e C_b - k_{l+} C_b - k_{h+} C_b - k_{is+} C_b + k_{h-} C_h + k_{is-} C_{is} - k_{bd+} C_b + k_{bd-} C_{bd} \\
 \frac{dC_l}{dt} &= k_{l+} C_b - k_{l-} C_l - k_{ld+} C_l + k_{ld-} C_{ld} \\
 \frac{dC_h}{dt} &= k_{h+} C_b - k_{h-} C_h - k_{hd+} C_h + k_{hd-} C_{hd} \\
 \frac{dC_{is}}{dt} &= k_{is+} C_b - k_{br+} C_{is} - k_{is-} C_{is} + k_{br-} C_{is} - k_{isd+} C_{is} + k_{isd-} C_{isd} \\
 \frac{dC_{br}}{dt} &= k_{br+} C_{is} - k_{br-} C_{br} - k_{brd+} C_{br} + k_{brd-} C_{brd} \\
 \frac{dC_{bd}}{dt} &= k_{bd+} C_b - k_{bd-} C_{bd} \\
 \frac{dC_{bl}}{dt} &= k_{ld+} C_l - k_{ld-} C_{ld} \\
 \frac{dC_{hd}}{dt} &= k_{hd+} C_h - k_{hd-} C_{hd} \\
 \frac{dC_{isd}}{dt} &= k_{isd+} C_{is} - k_{isd-} C_{isd} \\
 \frac{dC_{brd}}{dt} &= k_{brd+} C_{br} - k_{brd-} C_{brd}
 \end{aligned} \right. \quad (4)$$

Таблица 3

Значения найденных параметров для модели,
учитывающей объемы камер и камеры-дублиеры

Название параметра	Значение для аппроксимации основными камерами	Значение для аппроксимации камерами-дублиерами
k_{br+}	1,46	2,19
k_{br-}	0,06	0,46
k_{is+}	0,02	0,15
k_{is-}	0,39	5,23
k_{l+}	1,35	7,78
k_{l-}	0,09	3,62
k_{h+}	1,03	4,68
k_{h-}	$5,49 \cdot 10^{-3}$	$7,43 \cdot 10^{-4}$
k_{brd+}	0,53	2,18
k_{brd-}	0,15	0,55
k_{isd+}	2,96	9,98
k_{isd-}	9,68	10
k_{ld+}	2,5	2,22
k_{ld-}	0,19	9,87
k_{hd+}	1,23	3,49
k_{hd-}	0,38	0,39
k_{bd+}	0,12	$3,37 \cdot 10^{-3}$
k_{bd-}	10	9,94
k_t	8,10	10,53

Таким образом в модель добавляется еще 10 неизвестных параметров, представляющих собой константы скорости в камерах-дублерах. По результатам оптимизации были получены следующие данные (табл. 3).

При этом значения целевой функции для разных вариантов выбора аппроксимирующих камер составили $F = 0,90$ и $F = 1,37$ соответственно для вариантов с основными и с камерами-дублерами. Графически результаты отображены на рис. 5–7.

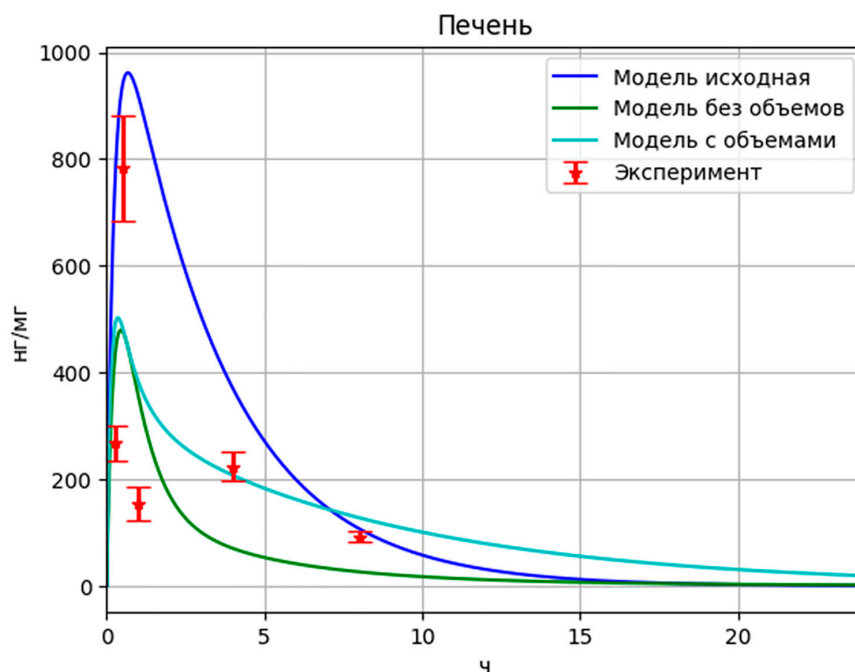


Рис. 2. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в печени

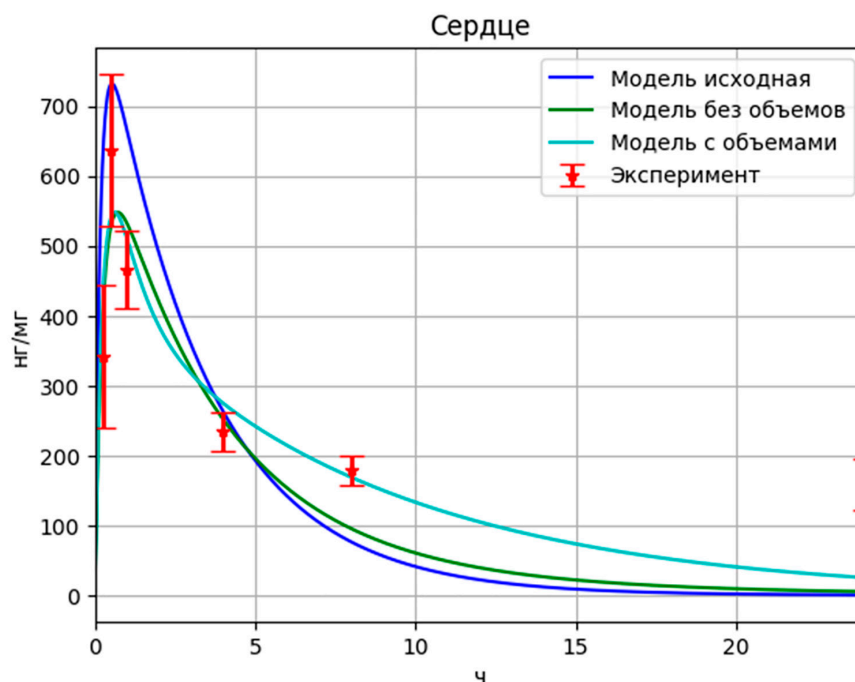


Рис. 3. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в сердце

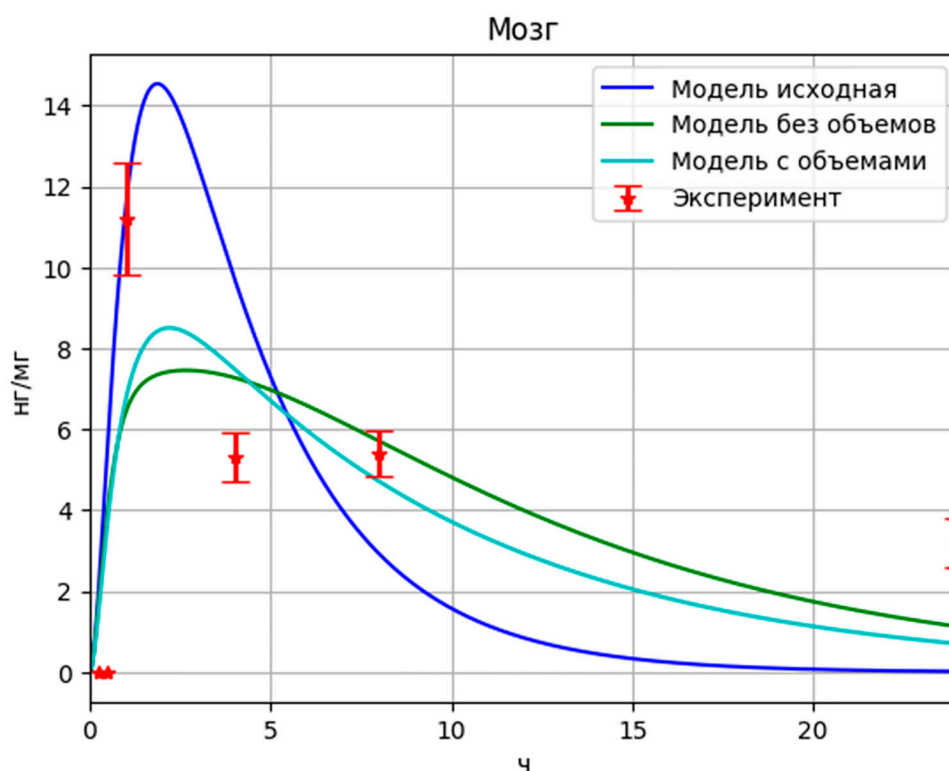


Рис. 4. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в мозге

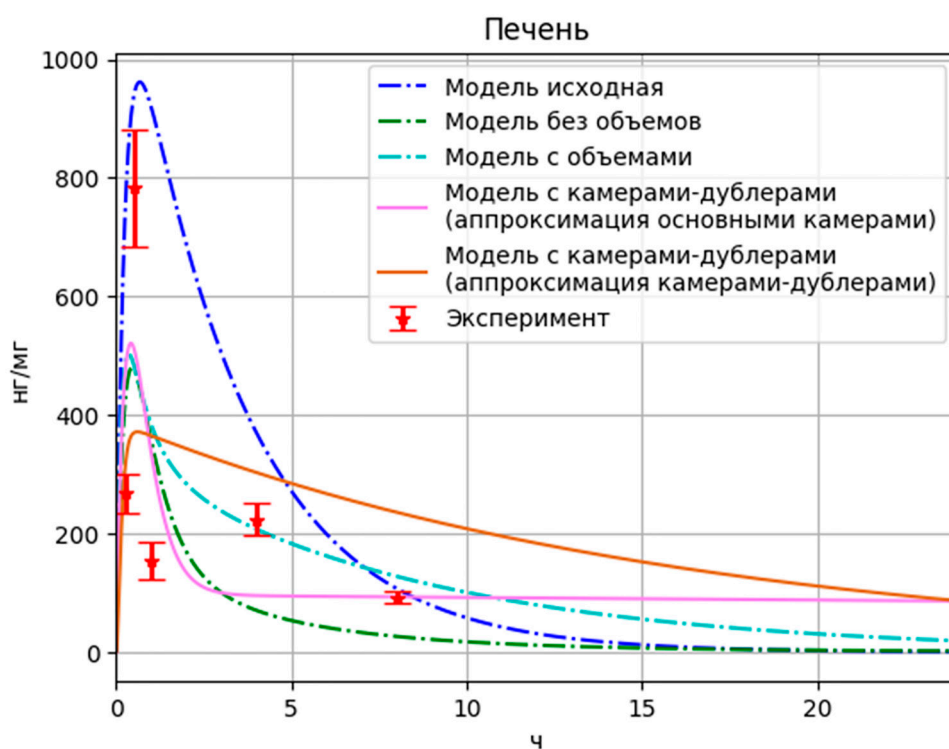


Рис. 5. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в печени с учетом дублирующих камер

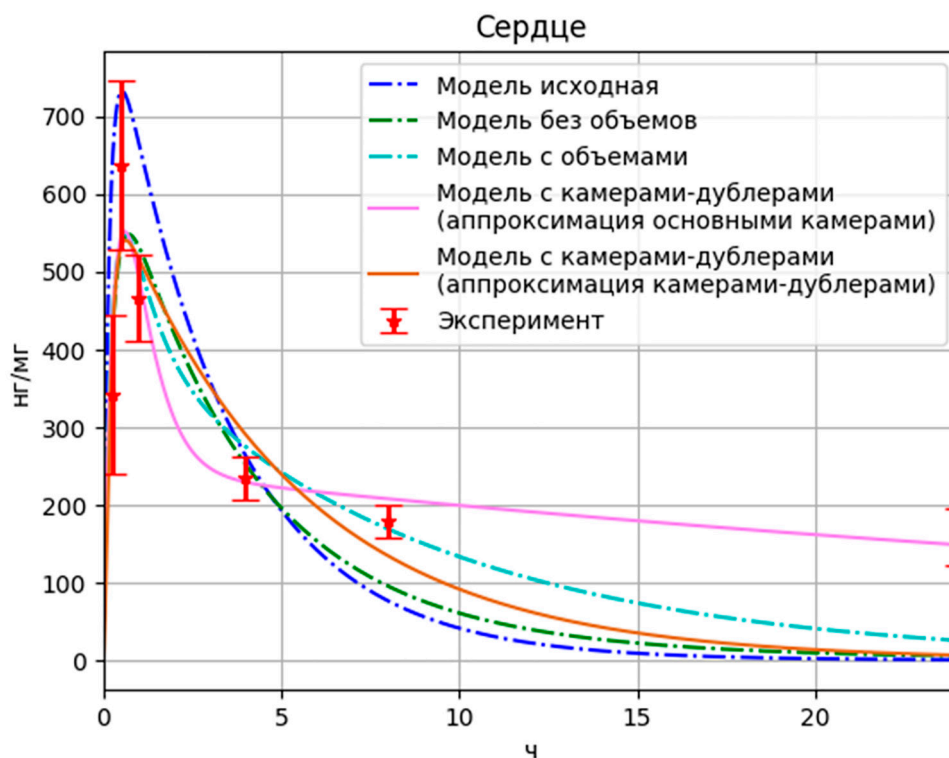


Рис. 6. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в сердце с учетом дублирующих камер

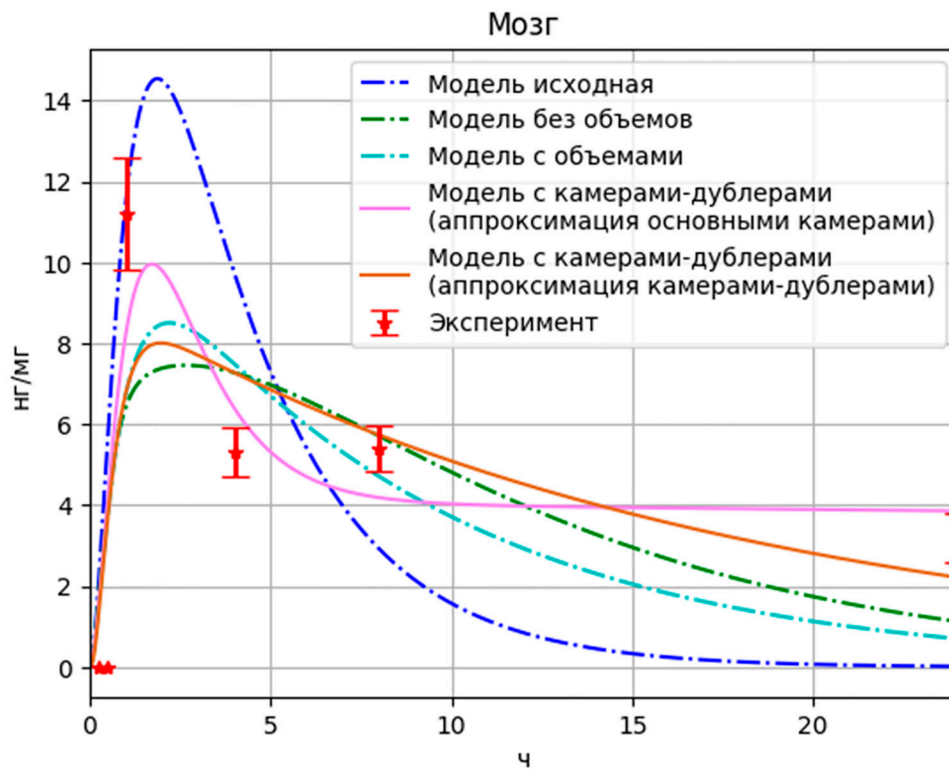


Рис. 7. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в мозге с учетом дублирующих камер

Таблица 4

Значения найденных параметров для модели, учитывающей объемы камер, камеры-дублиры, а также весовые коэффициенты данных

Название параметра	Значение
k_{br+}	0,05
k_{br-}	14,18
k_{is+}	3,08
k_{is-}	0,23
k_{l+}	1,53
k_{l-}	0,12
k_{h+}	1,70
k_{h-}	1,16
k_{brd+}	25
k_{brd-}	10,88
k_{isd+}	0,79
k_{isd-}	25
k_{ld+}	1,94
k_{ld-}	$1,06 \cdot 10^{-3}$
k_{hd+}	24,03
k_{hd-}	24,76
k_{bd+}	24,76
k_{bd-}	24,56
k_i	20,27

Можно заметить, что вариант модели с камерами-дублирами, где данные аппроксимируются основными камерами, наилучший не только по значению целевой функции ($F = 0,9$), но и по аппроксимации конечных значений. При этом данная модель плохо аппроксимирует пиковые значения, особенно для данных по печени.

Библиотека PyPharm позволяет варьировать значимость теоретических данных при оптимизации параметров модели, что позволило взять за основу полученную на прошлом этапе модель и улучшить ее аппроксимирование пиковых значений за счет варьирования весовых коэффициентов у данных. Были получены следующие параметры модели (табл. 4).

Результаты моделирования отражены на рис. 8–10.

Как видно из графиков (рис. 8–10), несмотря на то, что значение целевой функции выросло ($F = 1,81$), данная модель более точно описывает одновременно и пиковые значения и конечные.

Для более тщательного изучения эффективности применения алгоритма взаимовлияющих стран, а также использования новой модели с учетом камер-дублиров были проанализированы значения относительных ошибок для каждой из моделей (табл. 5).

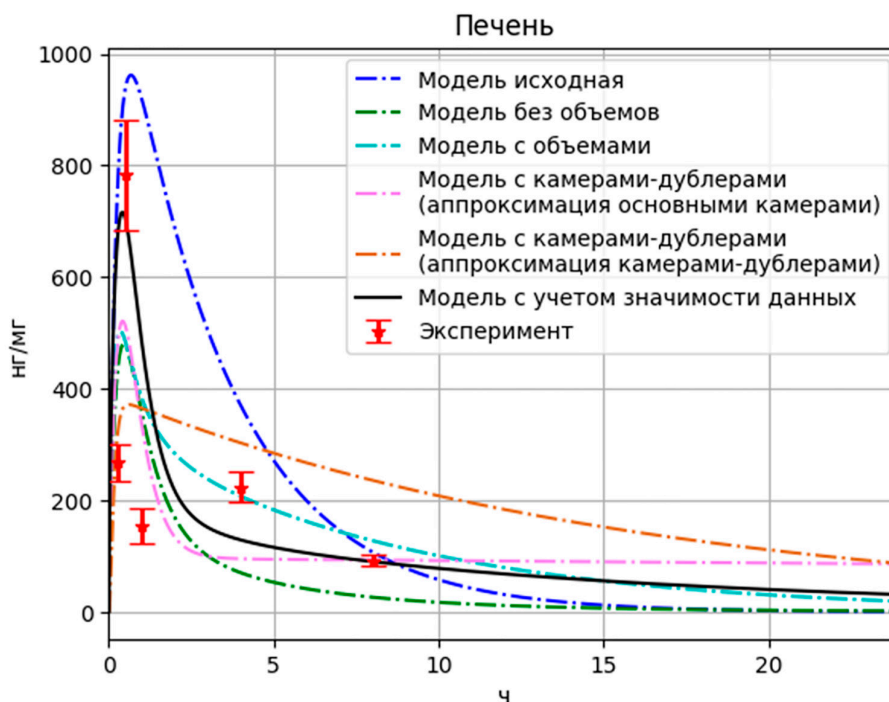


Рис. 8. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в печени с учетом значимости данных

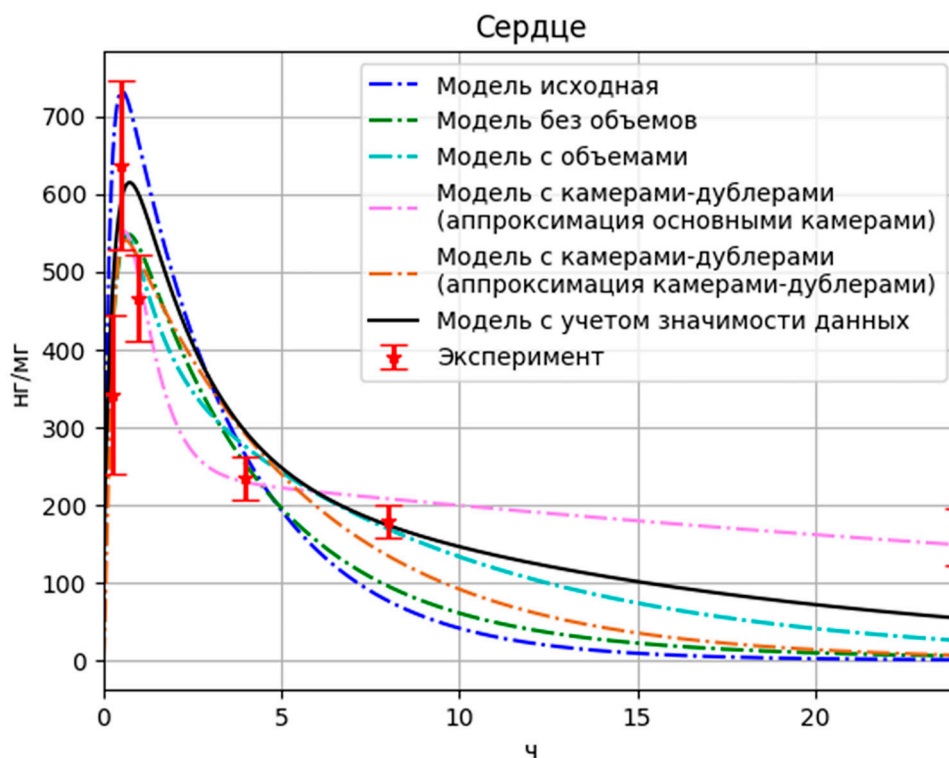


Рис. 9. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в сердце с учетом значимости данных

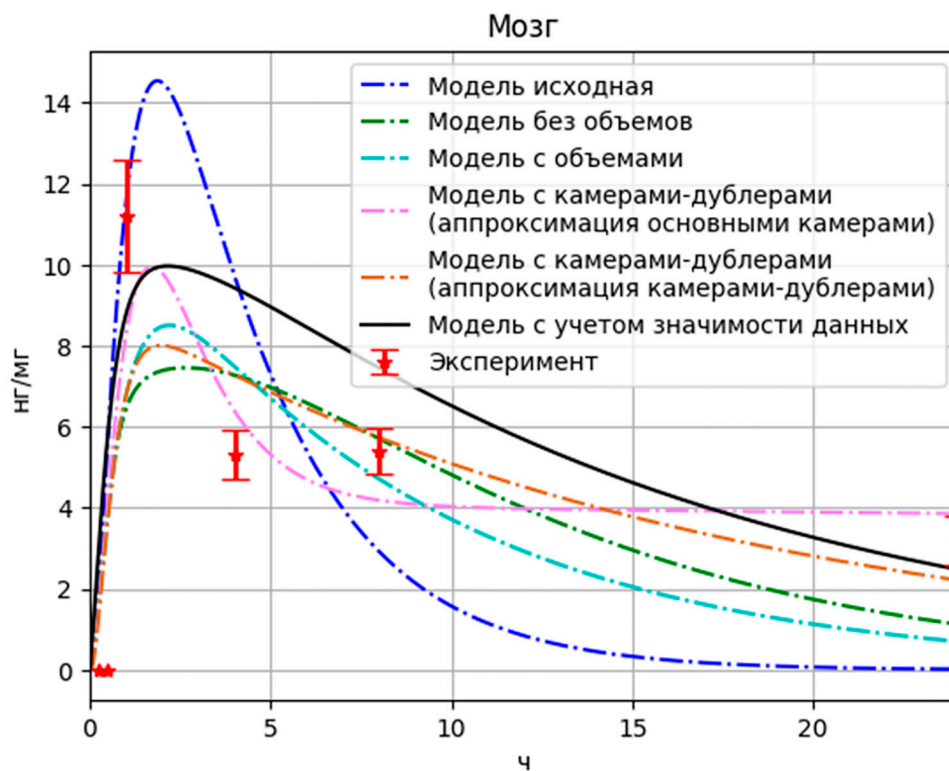


Рис. 10. Результаты моделирования высвобождения РМС-16 в мозге с учетом значимости данных

Таблица 5

Значение показателя абсолютной ошибки для различных моделей

	Максимальное значение абсолютной ошибки (Мозг/Печень/Сердце)	Минимальное значение абсолютной ошибки (Мозг/Печень/Сердце)	Среднее значение абсолютной ошибки (Мозг/Печень/Сердце)
Исходная модель	5,7 / 764,7 / 288,4	0,3 / 0,76 / 28,1	3,0 / 257,9 / 145,1
Оптимизированная модель без объемов	4,8 / 305,7 / 152,8	0,3 / 1,8 / 16,8	2,5 / 147,1 / 82,2
Оптимизированная модель с объемами	4,5 / 298,0 / 132,8	0,7 / 16,9 / 10,2	2,5 / 135,4 / 68,5
Модель с камерами-дублерами (аппроксимация основными камерами)	4,2 / 270,0 / 93,4	0,7 / 0,4 / 5,9	2,0 / 144,3 / 40,6
Модель с камерами-дублерами (аппроксимация камерами-дублерами)	4,4 / 413,4 / 151,7	0,3 / 40,2 / 44,8	2,1 / 162,1 / 76,8
Модель с учетом значимости данных	5,8 / 389,0 / 133,2	0,7 / 2,4 / 5,4	3,0 / 154,2 / 78,6

Данные из табл. 5 подтверждают эффективность использования библиотеки PyPharm, кроме того, подтверждается и эффективность внедрения камер-дублеров.

На основе результатов работы можно сделать вывод, что использование камер-дублеров позволяет существенно повысить качество предсказания фармакокинетической модели в случае, когда фармакокинетические кривые стремятся к постоянному ненулевому значению, то есть имеет место накопление вещества в тканях. При этом органам соответствуют именно основные камеры. В противном случае качество модели значительно снижается. Камеры-дублеры, таким образом, имитируют окружающие орган ткани, где лекарственный препарат или наночастицы могут находиться длительное время, поддерживая почти постоянный уровень лекарства в основной камере органа в течение долгого времени.

Заключение

В данной статье для решения задач фармакокинетики фуллерен-порфиринового нанофармакофора РМС-16 был применен новый алгоритм, основанный на моделях популяционной динамики. Алгоритм был применен как встроенный метод библиотеки PyPharm, разработанной для построения фармакокинетических моделей. Библиотека продемонстрировала свою гибкость настройки по отношению к возможностям построения моделей, а также значимости отдельных экспериментальных данных.

Была предложена новая модель для описания фармакокинетики фуллерен-порфиринового нанофармакофора РМС-16, исполь-

зующая концепцию камер-дублеров. Данная модель продемонстрировала свою эффективность и продемонстрировала наименьшее значение целевой функции ($F = 0,9$).

Результаты, полученные алгоритмом, превосходили по точности результаты исходного исследования авторов (приблизительно в 4,5 раза), помимо этого полученные модели более точно аппроксимировали пиковые и конечные значения кривых высвобождения. Кроме того, библиотека PyPharm (в частности, алгоритм взаимодействующих стран) показала свою эффективность для моделей с большим количеством неизвестных параметров.

Список литературы

1. Сергиенко В.И., Джеллифф Р., Бондарева И.Б. Прикладная фармакокинетика: основные положения и клиническое применение. М.: Изд-во РАМН, 2003. 208 с.
2. Ivy S.P., Siu L.L., Garrett-Mayer E., Rubinstein L. Approaches to phase 1 clinical trial design focused on safety, efficiency, and selected patient populations: a report from the clinical trial design task force of the national cancer institute investigational drug steering committee // Clin. Cancer Res. 2010. Vol. 16, Is. 6. P. 1726–1736. DOI: 10.1158/1078-0432.CCR-09-1961.
3. Hill-McManus D., Marshall S., Soto E., Hughes D.A. Integration of Pharmacometrics and Pharmacoeconomics to Quantify the Value of Improved Forgiveness to Nonadherence: A Case Study of Novel Xanthine Oxidase Inhibitors for Gout // Clin. Pharmacol. Ther. 2019. Vol. 106, Is. 3. P. 652–660. DOI: 10.1002/cpt.1454.
4. Bhavatharini P., Deepalakshmi M., Arun K. Pharmacometrics: The science applied from bench to bedside // J. Appl. Pharm. Sci. 2022. Vol. 12, Is. 01. P. 55–64. DOI: 10.7324/JAPS.2021.120104.
5. Yoon E., Babar A., Choudhary M., Kutner M., Pyrsooulos N. Acetaminophen-Induced Hepatotoxicity: a Comprehensive Update // J. Clin. Transl. Hepatol. 2016. Vol. 4, Is. 2. P. 131–142. DOI: 10.14218/JCTH.2015.00052.

6. Ryu H.-J., Kang W.-H., Kim T., Kim J.K., Shin K.-H., Chae J.-W., Yun H.-Y. A compatibility evaluation between the physiologically based pharmacokinetic (PBPK) model and the compartmental PK model using the lumping method with real cases // *Front. Pharmacol.* 2022. Vol. 13. P. 1–12. DOI: 10.3389/fphar.2022.964049.
7. Talevi A., Bellera C.L. Compartmental Pharmacokinetic Models // *ADME Processes in Pharmaceutical Sciences*. Cham: Springer, 2024. P. 173–192. DOI: 10.1007/978-3-031-50419-8_8.
8. Talevi A., Bellera C.L. One-Compartment Pharmacokinetic Model // *The ADME Encyclopedia*. Cham: Springer, 2021. P. 1–8. DOI: 10.1007/978-3-030-51519-5_58-1.
9. Крашенинников Р.С., Митричев И.И. Применение алгоритма взаимодействующих стран для поиска констант фармакокинетической модели // *Математические методы в технологиях и технике*. 2023. № 4. С. 12–15. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_2_12.
10. Sugikawa K., Masuda K., Kozawa K., Kawasaki R., Ikeda A. Fullerene–porphyrin hybrid nanoparticles that generate activated oxygen by photoirradiation // *RSC Advances*. 2021. Vol. 11, Is. 3. P. 1564–1568. DOI: 10.1039/D0RA09387D.
11. Bakhtiar A., Abdollahi M., Rezayat S.M., Mohammadi H.R. ATP depletion and oxidative damage of hepatic cells following acute exposure to malathion in rat: beneficial role of porphyrin–fullerene nanoparticles carrying magnetic magnesium // *Pharmaceutical and Biomedical Research*. 2015. Vol. 1, Is. 2. P. 10–19. DOI: 10.18869/acadpub.pbr.1.2.10.
12. Фурсов В.В., Зинченко Д.И., Наместникова Д.Д., Кузнецов Д.А. In silico-моделирование в оптимизации алгоритмов фармакокинетических исследований [$^{25}\text{Mg}^{2+}$] порфирина-фуллереновых наночастиц // *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2022. № 4. С. 65–71. DOI: 10.24075/vrgmu.2022.037.
13. Крашенинников Р.С., Митричев И.И. Разработка библиотеки Python для решения задач фармакокинетики // *Свободное программное обеспечение в высшей школе: материалы XIX Всероссийской конференции (Переславль-Залесский, 28–30 июня 2024 г.)*. М.: ООО «МАКС Пресс», 2024. С. 166–170. URL: https://www.basealt.ru/fileadmin/user_upload/education-conf-2024/educonf24.pdf (дата обращения: 04.02.2025).
14. Крашенинников Р.С., Митричев И.И. Оптимизационный алгоритм взаимодействующих стран // *Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием (Тольятти, 18–20 апреля 2023 г.)*. Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2023. С. 184–191. [Электронный ресурс]. URL: <https://sites.google.com/view/itmutgu/%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA> (дата обращения: 04.02.2025).
15. Крашенинников Р.С., Митричев И.И. Оптимизационный алгоритм взаимодействующих стран и его применение для решения задач фармакокинетики // *Прикладная математика и вопросы управления*. 2023. № 4. С. 26–135. DOI: 10.15593/2499-9873/2023.4.08.

УДК 519.6
DOI 10.17513/snt.40365

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВНУТРИ НАНОЖИДКОСТНОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ПРЯМОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

¹Манжула И.С., ²Вихтенко Э.М.

¹Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Хабаровск, e-mail: manzhula1994@gmail.com;

²ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»,
Хабаровск, e-mail: 004184@togudv.ru

В работе рассматривается математическое моделирование интенсивности солнечного излучения внутри солнечного коллектора прямого поглощения с наножидкостью в качестве теплоносителя. Цель исследования – на основе моделирования процессов внутри наножидкостного солнечного коллектора прямого поглощения выполнить расчет интенсивности солнечного излучения внутри коллектора, провести вычислительные эксперименты по установлению зависимости интенсивности солнечного излучения от материалов базовой жидкости и диспергированных в ней частиц. Для решения поставленной задачи использованы методы математического моделирования и вычислительной математики. Разработана математическая модель, основанная на уравнении ослабления светового потока в наножидкости, учитывающем рэлеевское рассеяние. В ходе работы проведены численные эксперименты, реализованные с использованием авторского программного комплекса, позволяющие исследовать зависимость интенсивности солнечного излучения от глубины коллектора, спектральных характеристик излучения и параметров наночастиц. Результаты численного моделирования показали, что материал и размер наночастиц, а также их объемная доля оказывают значительное влияние на поглощение солнечного излучения. Установлено, что применение наножидкостей с высоким коэффициентом поглощения позволяет повысить эффективность поглощения солнечной энергии и оптимизировать параметры солнечного коллектора. Данные результаты могут быть использованы при проектировании высокоэффективных солнечных энергетических систем.

Ключевые слова: математическое моделирование, солнечный коллектор, интенсивность излучения, численный эксперимент

SOFTWARE FOR MATHEMATICAL MODELING OF SOLAR RADIATION INTENSITY INSIDE A NANOFLUID-BASED DIRECT ABSORPTION SOLAR COLLECTOR

¹Manzhula I.S., ²Vikhtenko E.M.

¹Computing Center Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,
Khabarovsk, e-mail: manzhula1994@gmail.com;

²Pacific National University, Khabarovsk, e-mail: 004184@togudv.ru

The paper considers mathematical modeling of solar radiation intensity inside a direct absorption solar collector with a nanofluid as a heat carrier. The purpose of the study is to calculate the solar radiation intensity inside the collector based on modeling of processes inside a direct absorption nanofluid solar collector, to conduct computational experiments to establish the dependence of solar radiation intensity on the materials of the base fluid and the particles dispersed in it. To solve the problem, methods of mathematical modeling and computational mathematics were used. A mathematical model was developed based on the equation of attenuation of the luminous flux in a nanofluid, taking into account Rayleigh scattering. In the course of the work, numerical experiments were carried out using the author's software package, allowing us to study the dependence of solar radiation intensity on the collector depth, spectral characteristics of radiation and nanoparticle parameters. The results of numerical modeling showed that the material and size of nanoparticles, as well as their volume fraction, have a significant effect on the absorption of solar radiation. It has been established that the use of nanofluids with a high absorption coefficient allows increasing the efficiency of solar energy absorption and optimizing the parameters of the solar collector. These results can be used in the design of highly efficient solar energy systems.

Keywords: mathematical modeling, solar collector, radiation intensity, numerical experiment

Введение

В последние годы актуальность использования возобновляемых источников энергии стала очевидной и обсуждаемой в различных сферах общества. Одним из перспективных направлений является использование солнечной энергии. Однако в настоящее время многим системам, рабо-

тающим на солнечной энергии, трудно конкурировать с традиционными энергетическими системами. В связи с этим большое количество работ направлено на улучшение солнечных тепловых коллекторов с целью повышения их производительности [1]. Одним из направлений улучшения показателей солнечных коллекторов является

возможность применения наножидкостей (коллоидных суспензий) в качестве теплоносителя в системах подобного типа [2, 3].

Наножидкостные солнечные коллекторы прямого поглощения (НКПП) являются достаточно новым решением по получению возобновляемой энергии. Для их проектирования и разработки необходимо проведение исследований с применением математического моделирования для определения, при каких параметрах наножидкости, интенсивности светового поля, скорости течения теплоносителя, а также геометрических характеристиках НКПП будут наиболее производительными. Применение методов математического моделирования позволяет детально изучать теплофизические процессы в таких коллекторах, оптимизировать их параметры, существенно сокращать временные и материальные издержки на их создание. Такая работа имеет большое практическое значение, так как способствует созданию эффективных солнечных электростанций и снижению нагрузки на окружающую среду. В настоящее время научными коллективами активно проводятся исследования в данном направлении. Разрабатываются новые математические модели, учитывающие, например, процессы конвекции наножидкости при различных размерах коллектора, наклонах и объемных долях наночастиц, а также исследуются экспериментальные разработки солнечных коллекторов с наножидкостями [4, 5]. В работе Z. Said и соавт. выполнен обзор имеющихся моделей, акцент делается на термической, экономической и экологической оценке изучаемых систем, а также на обсуждении возможных ограничений использования наножидкостей [6]. Отдельный интерес представляет обзорная статья [7], в которой поставлен ряд исследовательских задач, остающихся актуальными до сегодняшнего дня.

Несмотря на большое количество исследований, о промышленном применении солнечных коллекторов на наножидкостях речь в настоящее время не идет. В связи с этим исследование и моделирование процессов в данном направлении является актуальной задачей. В данной работе авторы сосредоточились на вопросе определения величины интенсивности солнечного излучения внутри коллектора, исследовании зависимости интенсивности солнечного излучения от материалов базовой жидкости и диспергированных в ней частиц.

Цель исследования – на основе моделирования процессов внутри наножидкостного солнечного коллектора прямого поглощения выполнить расчет интенсивности солнечного излучения внутри коллектора,

провести вычислительные эксперименты по установлению зависимости интенсивности солнечного излучения от материалов базовой жидкости и диспергированных в ней частиц.

Материалы и методы исследования

Моделирование интенсивности солнечного излучения внутри солнечного коллектора является важной задачей при проектировании и оптимизации солнечных энергетических систем. Далее в статье рассматривается плоский солнечный коллектор, состоящий из элемента, поглощающего солнечное излучение (абсорбер), прозрачного покрытия и термоизолирующего слоя [8]. Абсорбер связан с теплопроводящей системой и покрывается черной краской либо специальным селективным покрытием для повышения эффективности. Прозрачный элемент обычно изготавливается из закаленного стекла с пониженным содержанием металлов либо особого рифленого поликарбоната. Задняя часть панели покрыта теплоизоляционным материалом, который накапливает энергию с помощью гелиотермального способа. Внутри коллектора располагается базовая жидкость с наночастицами, причем предполагается, что наночастицы – это шарообразные частицы диаметром 1–100 нм, среднее расстояние между соседними твердыми частицами намного больше их диаметров, кинетическая энергия твердых частиц в жидкости пренебрежимо мала, объемная доля частиц в наножидкости не превышает 0,05.

Задача определения величины интенсивности солнечного излучения определенной длины волны сформулирована в виде задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка. Суммарное значение величины интенсивности излучения вычисляется интегрированием по всему спектру излучения.

Для проведения вычислительных экспериментов при исследовании создан программный комплекс на языке Python в IDE PyCharm Community Edition 2021.1.1 x64. Для решения задачи Коши использован метод Рунге – Кутты четвертого порядка, численное интегрирование выполнено методом Симпсона.

Результаты исследования и их обсуждение

Перейдем к математической постановке задачи [9]. Рассмотрена прямоугольная область, имитирующая солнечный коллектор с длиной и высотой L и H (рис. 1). Учитывая специфику работы устройства данного типа, обязательным условием является $L \gg H$.

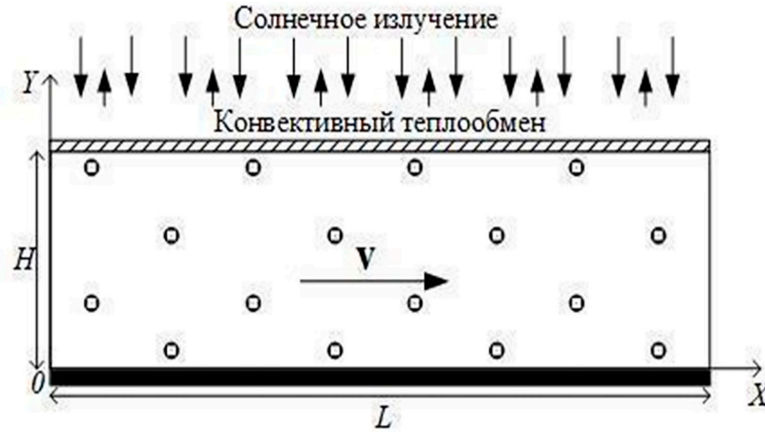


Рис. 1. Упрощенная схема солнечного коллектора
Источник: составлено авторами на основе [8]

С целью описания процесса прохождения солнечного излучения через коллектор, в рамках которого происходит ослабление светового потока, необходимо решить задачу Коши относительно интенсивности солнечного излучения $I_\lambda(y)$ [9, 10]:

$$\frac{dI_\lambda(y)}{dy} = -(K_{e\lambda,bf} + K_{e\lambda,np})I_\lambda(y) = -K_{e\lambda,nf}I_\lambda(y), 0 < y < H, \quad (1)$$

$$I_\lambda(H) = \tau I_{b,\lambda}. \quad (2)$$

Подробное описание математической постановки, а также используемых величин и коэффициентов приведено в работе [9].

Для наножидкостей, в которых присутствие мелких частиц влияет на характер поглощения, а также на характер рассеяния, необходимо использовать некоторые соотношения, такие как, например, приближение рэлеевского рассеяния [11].

Это приближение справедливо, когда $\alpha \ll 1$ и $|m|\alpha \ll 1$, где α и m – размер и комплексный показатель преломления наночастиц соответственно, и определяются по следующим формулам:

$$\alpha = \pi d_p / \lambda, m = (n_{np} + i\kappa_{np}) / n_{bf}, \quad (3)$$

где d_p – диаметр частиц; n_{np} и κ_{np} – показатель преломления и коэффициент экстинкции материала наночастиц; n_{bf} – показатель преломления базовой жидкости [12].

Значения для оптических величин n_{np} – показатель отражения, κ_{np} и n_{bf} – показатели поглощения материала наночастиц и базовых жидкостей заимствованы из базы данных MiePlot v4621 [13].

С физической точки зрения, используя рассеяние Рэля, необходимо помнить, что размер используемых наночастиц должен быть намного меньше длины волны падающего излучения. Исходя из этого спектральный показатель ослабления необходимо определить по формуле

$$K_{e\lambda,np} = \frac{3f_v Q_{e\lambda}(\alpha, m)}{d_p}, \quad (4)$$

где f_v – объемная доля частиц, $Q_{e\lambda}(\alpha, m)$ – эффективность экстинкции в режиме Рэля, которая определяется по следующей формуле

$$Q_{e\lambda} = 4\alpha \operatorname{Im} \left\{ \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} + \frac{\alpha^2}{15} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2 \frac{m^4 + 27m^2 + 38}{2m^2 + 3} \right\} + \frac{8}{3} \alpha^4 \left| \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \right|^2, \quad (5)$$

где член эффективности экстинкции ($Q_{e\lambda}$) равен сумме эффективности поглощения ($Q_{a\lambda}$) и эффективности рассеяния ($Q_{s\lambda}$), которые соответственно вычисляются по формулам

$$Q_{a\lambda} = 4\alpha \operatorname{Im} \left\{ \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} + \frac{\alpha^2}{15} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2 \frac{m^4 + 27m^2 + 38}{2m^2 + 3} \right\}, Q_{s\lambda} = \frac{8}{3} \alpha^4 \left| \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \right|^2.$$

Подставляя выражения (3) и (5) в (4), получаем следующую формулу для вычисления $K_{e\lambda,np}$ [6]:

$$K_{e\lambda,np} = \frac{12\pi f_v}{\lambda} \operatorname{Im} \left\{ \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} + \frac{(\pi d_p)^2}{15\lambda^2} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2 \frac{m^4 + 27m^2 + 38}{2m^2 + 3} \right\} + \frac{8\pi^4 d_p^3 f_v}{\lambda^4} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2.$$

Спектральная интенсивность излучения в солнечном коллекторе на различной глубине ($d_p = 5.0$ нм, $f_v = 0.8\%$)

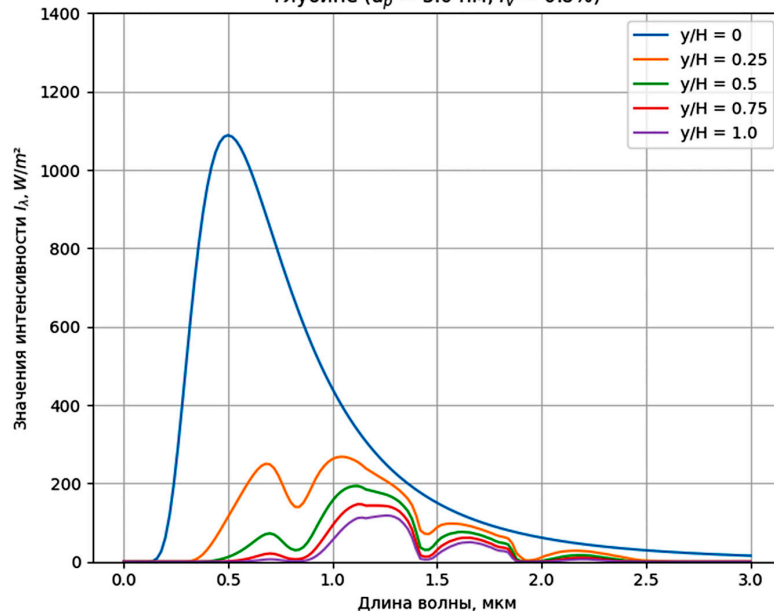


Рис. 2. Спектральная интенсивность излучения в солнечном коллекторе на различной глубине
Источник: составлено авторами

Решение (1) можно получить в явном виде. Общее решение уравнения имеет вид

$$I_\lambda(y) = \exp(-K_{e\lambda,np}y)C. \quad (6)$$

Далее найдем константу C , используя граничное условие (2). Имеем

$$C = \tau I_{b,\lambda} \exp(K_{e\lambda,np}H).$$

Подставляя значение константы C в (6), получаем искомое решение

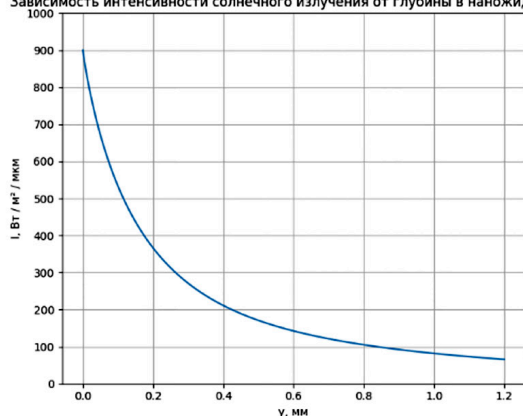
$$I_\lambda(y) = \tau I_{b,\lambda} \exp(K_{e\lambda,np}(H - y)). \quad (7)$$

При помощи программного обеспечения, разработанного авторами [9], проведены вычисления, позволяющие исследовать зависимость интенсивности излучения от свойств наножидкости. Ранее авторами выполнено исследование по сравнению поглощающих свойств наножидкостей, состоящих из дистиллированной воды и этиленгликоля [14].

На рис. 2 представлены результаты моделирования спектральной интенсивности солнечного излучения, проходящего сквозь коллоидную суспензию, состоящую из на-

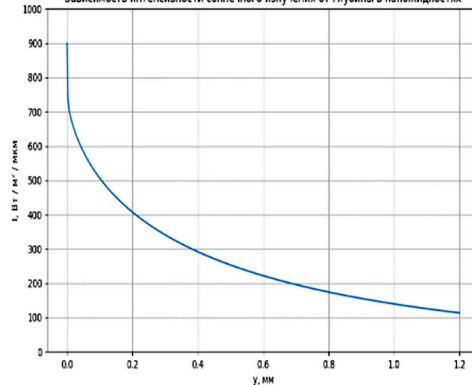
ночастиц алюминия, а в качестве основы (базовой жидкости) была использована дистиллированная вода. При моделировании были использованы следующие начальные данные: высота коллектора $H = 1,2$ мм, диаметр частиц $d_p = 5$ нм, объемная доля частиц $f_v = 0.8\%$ [10]. Из рис. 2 видно, что в верхней части НКПП значение спектральной интенсивности достигает максимального значения и довольно быстро уменьшается по мере прохождения светового потока. Это происходит в связи с тем, что наножидкость обладает селективными свойствами, из-за которых происходит избирательное поглощение и рассеивание солнечного излучения в зависимости от длины волны. Наибольшее ослабление интенсивности происходит в области примерно от 0,5 до 1 мкм, где присутствует большая часть энергии падающего солнечного света. Как упоминалось ранее, в этих расчетах пренебрегалось атмосферным поглощением и различными составляющими газами, поэтому в спектральном распределении интенсивности не видны резкие перепады, которые могли бы появиться в противном случае.

Зависимость интенсивности солнечного излучения от глубины в наножидкостях



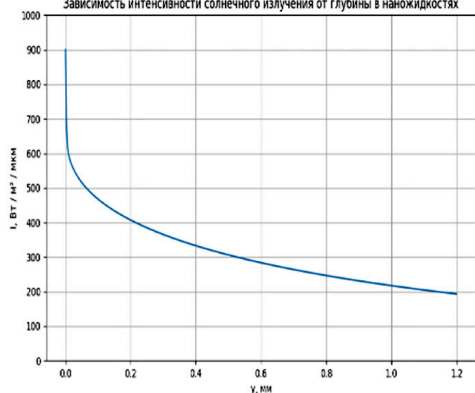
а)

Зависимость интенсивности солнечного излучения от глубины в наножидкостях



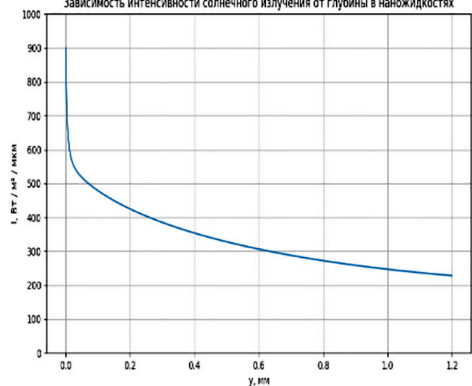
б)

Зависимость интенсивности солнечного излучения от глубины в наножидкостях



в)

Зависимость интенсивности солнечного излучения от глубины в наножидкостях



г)

Рис. 3. Распространение интенсивности солнечного излучения для частиц различных металлов: а) алюминия; б) серебра; в) золота; г) меди

Источник: составлено авторами

Выражение (7) описывает интенсивность солнечного излучения в наножидкости в зависимости от длины волны излучения и координаты y . Чтобы получить общую интенсивность излучения и ее производную в определенной точке коллектора, нужно проинтегрировать выражение (7) по всему диапазону длин волн солнечного излучения.

Интегрируя (7) на отрезке $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$, получаем

$$I(y) = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} I_{\lambda}(y) d\lambda = \tau \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} I_{b,\lambda} \exp(-K_{e\lambda, np} y) d\lambda,$$

где λ_{min} и λ_{max} – границы спектра солнечного излучения (0–3 мкм).

Далее, для изучения зависимости поглощения светового потока солнечного излучения наножидкостью от материала наночастиц проведем вычислительные эксперименты. В расчетах будет рассматриваться ряд наножидкостей, состоящих из одной

и той же базовой жидкости, в качестве которой взята дистиллированная вода, но с разными материалами наночастиц.

В качестве материала наночастиц использовались частицы алюминия, серебра, золота и меди. Чтобы обеспечить сравнимость результатов, во всех численных экспериментах использована наножидкость с одинаковой фиксированной объемной долей наночастиц (0,8%) и их диаметром (5 нм). Для удобства численного эксперимента положим, что падающая на верхнюю часть коллектора интенсивность солнечного излучения суммарно равна 1000 Вт/м^2 , а коэффициент прохождения излучения через стекло $\tau = 0.9$.

На рис. 3, а–г, представлен результат расчета распространения интенсивности солнечного излучения в НКПП по всей глубине для частиц алюминия, серебра, золота и меди соответственно, которые имели диаметр 5 нм и объемную долю 0,8%.

Заметим, что полученные результаты моделирования для спектральной интенсивности солнечного излучения, проходящего сквозь коллоидную суспензию, состоящую из дистиллированной воды и наночастиц алюминия, совпали с результатами, представленными в работе [12]. Данный факт подтверждает корректность работы реализованного алгоритма.

Из рис. 3, а–г, видно, что для наножидкостей, использующих дистиллированную воду в качестве базовой жидкости, наибольшим поглощением интенсивности солнечного излучения обладает жидкость с диспергированными в ней наночастицами алюминия, а наименьшим – наножидкость с частицами меди. Из представленных результатов можно резюмировать, что ввиду

различных химических свойств наночастицы различных материалов взаимодействуют с базовыми жидкостями по-разному. Это приводит к изменению поглощающих свойств полученных наножидкостей.

Рассмотрим, как размеры наночастиц при сохранении объемной доли влияют на интенсивность светового потока. Для краткости далее будут приведены результаты численных экспериментов только для наножидкостей, в составе которых присутствуют дистиллированная вода и наночастицы алюминия. Объемная доля наночастиц зафиксирована на уровне 0,8%, а диаметр принимает последовательно значения 1, 5, 10, 15 и 20 нм. Для других типов наножидкостей, которые рассмотрены ранее, наблюдается аналогичная тенденция.

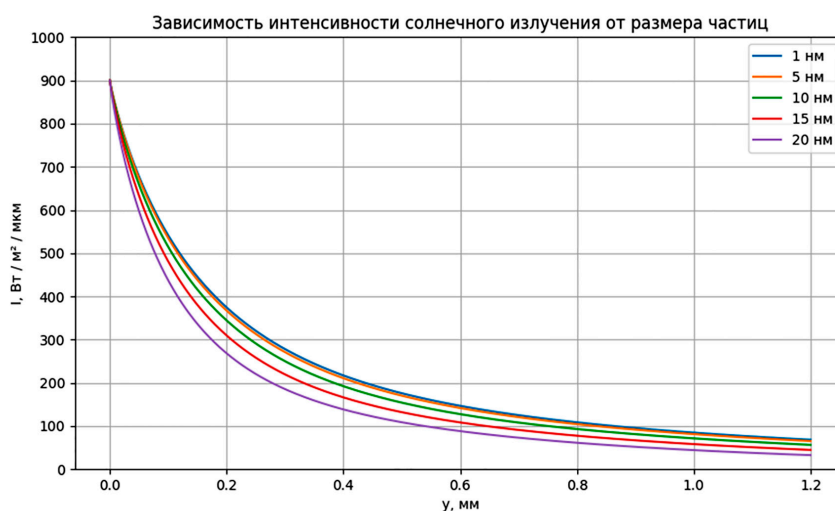


Рис. 4. Распространение интенсивности солнечного излучения в НКПП при различных размерах частиц и объемной доле $f_v = 0.8\%$
Источник: составлено авторами

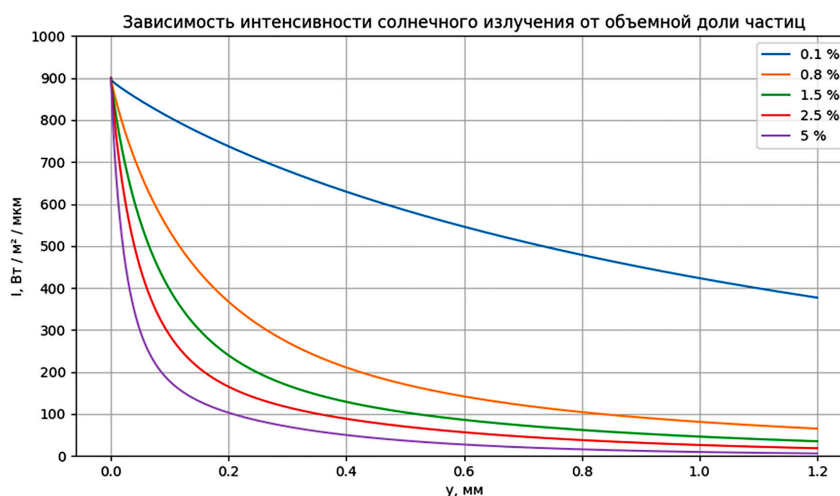


Рис. 5. Распространение интенсивности солнечного излучения в НКПП при различных значениях объемной доли
Источник: составлено авторами

На рис. 4 представлены результаты моделирования интенсивности солнечного излучения в НКПП при различных размерах наночастиц алюминия. Из представленных графиков видно, что с увеличением размеров наночастиц поглощение солнечного излучения также увеличивается. Наножидкость с диаметром наночастиц 20 нм обладает наибольшим поглощением, в то время как наножидкость с диаметром наночастиц 1 нм имеет наименьшее поглощение. Этот факт говорит о значительной зависимости показателя поглощения наножидкости от диаметра наночастиц и целесообразности использования более крупных частиц для улучшения переноса тепла.

Далее выполнены расчеты, позволяющие определить зависимость интенсивности потока солнечного излучения от объемной доли наночастиц при постоянном диаметре, равном 5 нм. В данном случае объемная доля наночастиц варьировалась и принимала значения 0,1; 0,8; 1,5; 2,5 и 5 % (рис. 5).

Анализ представленных выше результатов позволяет резюмировать, что увеличение объемной доли наночастиц приводит к увеличению поглощения солнечного излучения. Наблюдается наивысшее поглощение у наножидкости с объемной долей наночастиц 5 %, а наименьшее – у наножидкости с объемной долей 0,1 %. Проведенные расчеты подтверждают прямую зависимость между коэффициентом удельного поглощения светового потока в наножидкости и диаметром, а также объемной долей наночастиц.

Дальнейшее развитие исследований в данной области направлено на применение наножидкостей, содержащих смесь наночастиц различных веществ [15].

Заключение

В статье поставлена и решена задача определения интенсивности солнечного излучения внутри НКПП. Из-за сложной зависимости коэффициентов поглощения и рассеивания света от длины волны спектра солнечного излучения общая задача определения интенсивности потока солнечного излучения внутри НКПП не имеет аналитического решения, поэтому использованы методы вычислительной математики. Получены численные результаты исследования, которые позволили оценить влияние материала, объемной доли и диаметра наночастиц на процессы поглощения солнечного излучения в наножидкости. Расчеты показали, что поглощающие свойства наножидкостей и базовых жидкостей могут значительно отличаться. Выбор наножидкостей с высоким показателем поглощения солнечного излучения в качестве рабочих жидкостей

позволяет создавать «тонкие» солнечные коллекторы прямого поглощения.

Список литературы

1. Gaur A.S., Fitiwi D.Z., Curtis J. Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review // *Energy Research & Social Science*. 2021. Vol. 71. P. 101764. DOI: 10.1016/j.erss.2020.101764.
2. Gorji T.B., Ranjbar A.A. Thermal and exergy optimization of a nanofluid-based direct absorption solar collector // *Renewable Energy*. 2017. Vol. 106. P. 274–287. DOI: 10.1016/j.renene.2017.01.031.
3. Balakin B.V., Kosinska A., Kutsenko K.V., Zhdaneev O.V. Direct absorption solar collector with magnetic nanofluid: CFD model and parametric analysis // *Renewable Energy*. 2019. Vol. 136. P. 23–32. DOI: 10.1016/j.renene.2018.12.095.
4. Nguyen L.V., Kosinski P., Balakin B.V., Kosinska A. Direct absorption solar collector: Use of nanofluids and biodegradable colloids // *International Journal of Thermal Sciences*. 2023. Vol. 190. P. 108292. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2023.108292.
5. Struchalin P.G., Yunin V.S., Kutsenko K.V., Nikolaev O.V., Vologzhannikova A.A., Shevel'yova M.P., Gorbacheva O.S., Balakin B.V. Performance of a tubular direct absorption solar collector with a carbon-based nanofluid // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2021. Vol. 179. P. 121717. DOI: 10.1016/j.jheatmasstransfer.
6. Said Z., Hachicha A.A., Aberoumand S., Yousef A.A., Sayed E.T., Bellos E. Recent advances on nanofluids for low to medium temperature solar collectors: energy, exergy, economic analysis and environmental impact // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2021. Vol. 84. P. 100898. DOI: 10.1016/j.peccs.2020.100898.
7. Pandey K.M., Chaurasiya R. A review on analysis and development of solar flat plate collector // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 67. P. 641–650. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.078.
8. Sarsam W.S., Kazi S.N., Badarudin A. A review of studies on using nanofluids in flat-plate solar collectors // *Solar Energy*. 2015. Vol. 122. P. 1245–1265. DOI: 10.1016/j.soler.2015.10.032.
9. Вихтенко Э.М., Манжула И.С. Программный комплекс для проведения математического моделирования интенсивности солнечного излучения внутри наножидкостного солнечного коллектора прямого поглощения // *Перспективы науки*. 2024. № 5 (176). С. 105–111.
10. Vital C.V.P., Farooq S., de Araujo R.E., Rativa D., Gómez-Malagón L.A. Numerical assessment of transition metal nitrides nanofluids for improved performance of direct absorption solar collectors // *Applied Thermal Engineering*. 2021. Vol. 190. P. 116799. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.116799.
11. Pilkington S., Norton B. Optical design of collimators for solar concentrators // *Solar Energy*. 2007. № 81 (2). С. 218–224.
12. Tyagi H., Phelan P., Prasher R. Predicted Efficiency of a Low-Temperature Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector // *Journal of Solar Energy Engineering*. 2009. Vol. 131, Is. 4. DOI: 10.1115/1.3197562.
13. MiePlot. A computer program for scattering of light from a sphere using Mie theory & the Debye series. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.philiplaven.com/mieplot> (дата обращения: 20.02.2025).
14. Придворов В.В., Манжула И.С. Исследование зависимости интенсивности светового потока от свойств среды, используемой в качестве базовой жидкости в солнечном коллекторе прямого поглощения // *ТОГУ-Старт: фундаментальные и прикладные исследования молодых. Материалы региональной научно-практической конференции*. Хабаровск. 2022. С. 48–57.
15. Sheikholeslami M., Farshad S.A., Ebrahimpour Z., Said Z. Recent progress on flat plate solar collectors and photovoltaic systems in the presence of nanofluid: A review // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 293. P. 126119. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126119.

УДК 519.61

DOI 10.17513/snt.40366

О ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ВЫЧИСЛЕНИИ СОБСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛЕВЕРЬЕ С ВИДОИЗМЕНЕНИЕМ Д.К. ФАДДЕЕВА

Ромм Я.Е., Тюшнякова И.А.

*Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал)
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)»,
Таганрог, e-mail: romm@list.ru, solovyova_irina@mail.ru*

Цель работы – представить преобразование метода Лаверье решения полной проблемы собственных значений с видоизменением Д.К. Фаддеева, при котором достигается максимально параллельная форма преобразуемого метода с квадратично-логарифмической временной сложностью для одновременного определения коэффициентов характеристического полинома и всех собственных векторов матрицы. Показано, что данная оценка временной сложности сохраняется, если для поиска корней характеристического полинома применить параллельный метод их вычисления на основе устойчивой адресной сортировки. Предложенное преобразование опирается на элементарное приравнивание коэффициентов при одинаковых степенях матриц в исходном алгоритме вычисления собственных векторов. В результате матрица всех собственных векторов, соответствующая отдельно взятому собственному значению, выражается в виде матричного полинома с числовыми коэффициентами. Рассматриваемые преобразования и их результаты относятся к случаю, когда все собственные числа матрицы различны. Метод распространяется на преобразование подобия, при этом обе матрицы преобразования выражаются в конструктивной форме. Аналогично представлена связь и структура матриц собственных векторов, отвечающих каждому собственному числу исходной матрицы, и диагональной матрицы, полученной в результате преобразования подобия. Все вычислительные операции допускают параллельное выполнение с сохранением квадратично-логарифмической оценки временной сложности для нахождения полной совокупности рассматриваемых алгебраических объектов в границах метода Лаверье с видоизменением Д.К. Фаддеева. Дополнительно представлены структурные соотношения между матричными полиномами, представляющими собственные векторы, конструктивно указана связь между матрицей собственных векторов и обратной матрицей. Работа включает явные формулы собственных векторов матрицы, а также их видоизменений в случае преобразования подобия. Формулы применимы для оценки возмущений в приложениях к задачам механики.

Ключевые слова: собственные значения матрицы, собственные векторы, полная проблема собственных значений, параллельные алгоритмы линейной алгебры, преобразование подобия

ON PARALLEL CALCULATION OF EIGENVECTORS BASED ON THE LEVERRIER METHOD MODIFIED BY D.K. FADDEEV

Romm Ya.E., Tyushnyakova I.A.

*Taganrog Institute named after A.P. Chekhov of the Rostov State University of Economics,
Taganrog, e-mail: romm@list.ru, solovyova_irina@mail.ru*

The purpose of the work is to show the transformation of the LeVerrier method for solving the complete eigenvalue problem modified by D.K. Faddeev. It helps to achieve the maximum parallel form of the transformed method with quadratic-logarithmic time complexity for simultaneous coefficients' determination of the characteristic polynomial and all the eigenvectors of the matrix. It is shown that this estimate of time complexity is preserved if a parallel method based on stable address sorting is used to find the roots of a characteristic polynomial. The proposed transformation is based on the elementary equalization of coefficients with the same degrees of matrices in the original algorithm for eigenvectors' calculation. As a result, the matrix of all eigenvectors corresponding to a single eigenvalue is expressed as a matrix polynomial with numerical coefficients. The transformations under consideration and their results relate to the case when all the eigenvalues of the matrix are different. The method extends to the similarity transformation, with both transformation matrices expressed in a constructive form. Similarly, the relationship and structure of the eigenvector matrices corresponding to each eigenvalue of the original matrix and the diagonal matrix resulting from the similarity transformation are given. All computational operations can be performed in parallel while maintaining a quadratic-logarithmic estimate of time complexity in order to find the complete set of algebraic objects under consideration within the boundaries of the LeVerrier method modified by D.K. Faddeev. Additionally, the structural relations between matrix polynomials representing eigenvectors are provided, and the relationship between the matrix of eigenvectors and the inverse matrix is constructively indicated. The work includes explicit formulas for the eigenvectors of the matrix, as well as their modifications in the case of a similarity transformation. The formulas are applicable to estimating disturbances in applications to problems in mechanics.

Keywords: eigenvalues of a matrix, eigenvectors, the complete eigenvalue problem, parallel linear algebra algorithms, similarity transformation

Введение

В работе рассматривается возможность параллельного решения полной проблемы собственных значений с формулами собственных векторов матрицы. Подход опирается на метод Леверье с видоизменением Д.К. Фаддеева. Параллельные алгоритмы представляются на модели неветвящихся параллельных программ, понимаемой как последовательность шагов, на каждом из которых синхронно выполняются арифметические операции над готовыми значениями данных. Временная сложность алгоритма («время выполнения») обозначается $T(R)$ и измеряется числом последовательных операций, указывается их вид, а также количество требуемых процессорных элементов R (условно – процессоров). Время и способы обмена при этом не учитываются. Известные проблемы синтеза и анализа параллельных алгоритмов излагаются в [1, с. 443; 2]. Аспекты программирования параллельных алгоритмов обсуждаются, в частности, в [3, с. 43, 183]. Особенности адаптации к архитектурам параллельных вычислительных систем детально анализируются в [3, с. 69, 96, 136; 4]. Разновидности архитектуры суперкомпьютеров и их связь с классами решаемых задач описываются в [1, с. 94; 3, с. 43]. Общие тенденции развития параллельных вычислений отмечаются в [5].

Решение полной проблемы собственных значений включает нахождение всех собственных чисел матрицы. В рамках метода Леверье решение этой проблемы принято понимать как определение всех коэффициентов характеристического полинома. В целом решение проблемы подразумевает как вычисление корней характеристического полинома, так и поиск всех собственных векторов. Проблема актуальна для многих разделов математики, механики, техники и технологии. В небесной механике решение полной проблемы собственных значений связано с оценкой возмущения вековых орбит небесных тел [6, с. 295]. Именно с этой целью Леверье создал метод, который применял для анализа отклонений от расчетных орбит планет Солнечной системы [7, с. 15]. На основе оценок возмущения орбиты Урана был открыт Нептун. Обзор работ Леверье на эту тему с доступом к их электронным копиям представлен в [8, с. 518]. В приложении к оценкам возмущений метод применяется к матрице постоянных коэффициентов после линеаризации систем дифференциальных уравнений, описывающих движение небесных тел [9, с. 286]. Видоизменения классического метода используются в со-

временных исследованиях в области планетной астрономии и движения космических тел [10].

Решение проблемы собственных значений принципиально для задач теоретической и прикладной механики. В квантовой механике при описании стационарных квантовых состояний решение уравнения Шредингера сводится к нахождению собственных функций и собственных значений гамильтониана:

$$H\psi = E\psi,$$

где E – нижний уровень энергии, ψ – волновая функция, H – гамильтониан [11].

Приложение задач на собственные значения к расчету вибраций в механических структурах описано, в частности, в [12, с. 202]. Применение решения полной проблемы собственных значений в теории пластичности материалов показано в [13, с. 42].

Среди разнообразных математических приложений полной проблемы собственных значений можно отметить непосредственное использование в теории и практике решения систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. На этой основе строится фундаментальная система решений. По виду и структуре собственных чисел матрицы коэффициентов формулируется критерий устойчивости линейной дифференциальной системы с важными применениями. В аналитической и дифференциальной геометрии с помощью решения полной проблемы собственных значений определяется канонический вид кривых и поверхностей. В алгебре на данной основе выполняется построение канонической формы Жордана для представления линейных операторов.

Значение полной проблемы собственных значений общеизвестно и отмеченными применениями не исчерпывается. Необходимо, однако, принять во внимание, что ее практическое решение связано с большим объемом вычислений, с проблемой вычислительной устойчивости, со значительным накоплением вычислительной погрешности [14, с. 110, 243, 384]. В известной мере это относится к методу Леверье, характеризующемуся объемом вычислений порядка $O(n^4)$. Поэтому в вычислительных приложениях предпочтением пользуются другие методы. В частности, используется метод вращений Якоби [14, с. 426]. Наиболее часто указывается на применение устойчивых разновидностей QR -алгоритма [15; 16]. Тем же отличается и [14, с. 426], где метод Леверье рассматривается в критическом аспекте [14, с. 384]. Метод Леверье подробно представлен преимущественно

в учебных изданиях, например в [17, с. 311]. Тем не менее выбор этого метода в качестве предмета исследования обусловлен хорошо известными объективными отличиями. Во-первых, это единственный универсальный метод решения полной проблемы собственных значений, который не требует ограничений на вид матрицы. Во-вторых, это прямой (точный), а не итерационный метод, который за конечное число шагов дает решение. Аналогичным качеством обладает видоизменение Д.К. Фаддеева этого метода. В-третьих, в отличие от аналогов этот метод универсально дает дополнительные объекты алгебры, включая обратную матрицу (на основе соотношения Гамильтона – Кели), и тем самым решение системы линейных алгебраических уравнений. В-четвертых, что ценно для реализации на параллельных вычислительных системах, метод Леверье обладает максимально параллельной формой, позволяя на основе схемы Ксанки параллельно решить систему линейных алгебраических уравнений за конечное число шагов $O(\log_2^2 n)$ [18].

До настоящего времени результат Ксанки не распространен на нахождение собственных векторов матрицы. В излагаемой ниже работе ставится задача построить параллельное решение полной проблемы собственных значений на основе метода Леверье с видоизменением Д.К. Фаддеева, которое включает параллельное вычисление матрицы собственных векторов. С этой целью указываются формулы представления собственных векторов в явном виде. Требуется по возможности уменьшить объем вычислений, снизить оценку временной сложности за счет максимально параллельной формы, при этом ограничить накопление вычислительной погрешности.

Цель исследования. Первая цель – выполнить преобразование метода Леверье решения полной проблемы собственных значений с видоизменением Д.К. Фаддеева, при котором достигается максимально параллельная форма преобразуемого метода с сохранением временной сложности $O(\log_2^2 n)$ для определения коэффициентов характеристического полинома и одновременно всех собственных векторов матрицы. Вторая цель – показать, что корни характеристического полинома можно найти также по параллельной схеме, сохранив по величине порядка указанную временную оценку.

Материалы и методы исследования

Исследование опирается на методы синтеза и анализа параллельных алгоритмов в приложении к вычислительной линейной алгебре.

Результаты исследования и их обсуждение

Предложено преобразование метода Леверье с видоизменением Д.К. Фаддеева, которое позволяет параллельно выполнять численное решение полной проблемы собственных значений. Преобразование отличается тем, что исключает последовательность шагов вычисления вспомогательных величин, представляя матрицу собственных векторов как матричный полином с числовыми коэффициентами. Отсюда формируется параллельное решение полной проблемы собственных значений с применением известной схемы Ксанки параллельного вычисления коэффициентов характеристического полинома и решения системы линейных алгебраических уравнений. От итерационных методов решения рассматриваемой проблемы предложенная разновидность отличается универсальностью, изначально присущей методу Леверье. Предложенное преобразование реализует прямой метод решения проблемы за конечное число шагов. В целом метод допускает максимальное распараллеливание с временной сложностью $O(\log_2^2 n)$ для всей совокупности искомым объектов полной проблемы собственных значений. Попутно конструктивно вычисляется преобразование подобия и определяется структура матриц собственных векторов. Параллельное вычисление необходимо для сокращения времени численного моделирования многих процессов механики, опирающихся на решение полной проблемы собственных значений.

Исходные соотношения для решения полной проблемы собственных значений на основе метода Леверье.

Рассматривается однородная система линейных алгебраических уравнений (вектовое уравнение)

$$Ax = \lambda x, \quad (1)$$

где $A = (a_{ij})$ – квадратная матрица, $n \times n$, x – искомый собственный вектор. Требуется указать все значения λ , при которых решения (1) являются нетривиальными, требуется, иными словами, найти все собственные числа матрицы A . Условием для их определения является равенство нулю определителя системы (1):

$$\det(A - \lambda E) = 0, \quad (2)$$

где E – единичная матрица. Уравнение (2) – характеристическое уравнение матрицы A . Развертывание (2) влечет полиномиальное уравнение с неопределенными коэффициентами.

$$P = (E - S)^{-1} \mathbf{s}. \quad (10)$$

$$T(R) = O(\log_2^2 n) , \quad (11)$$

$$A^n - p_1 A^{n-1} - p_2 A^{n-2} - \dots - p_{n-1} A - p_n E \equiv O. \quad (12)$$

$$A^{-1} = \frac{1}{p_n} \left(A^{n-1} - p_1 A^{n-2} - \dots - p_{n-1} E \right). \quad (13)$$

$$\left. \begin{array}{ll} \text{шаг 1:} & A^2, \\ \text{шаг 2:} & A^2 \cdot A, \quad A^2 \cdot A^2, \\ \dots & \\ \text{шаг } i: & A^{2^{i-1}} \cdot A, \quad A^{2^{i-1}} \cdot A^2, \dots, A^{2^{i-1}} \cdot A^{2^{i-1}}, \end{array} \right\} \quad (14)$$

$$T(n^4) \leq \lceil \log_2 n \rceil \left(t_v + \lceil \log_2 n \rceil t_c \right) \sim \log_2^2 n t_c = O\left(\log_2^2 n\right). \quad (15)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= A, & \text{Sp}(A_1) &= q_1, & B_1 &= A_1 - q_1 E \\ A_2 &= AB_1, & \frac{\text{Sp}(A_2)}{2} &= q_2, & B_2 &= A_2 - q_2 E \\ & \dots\dots\dots \\ A_{n-1} &= AB_{n-2}, & \frac{\text{Sp}(A_{n-1})}{n-1} &= q_{n-1}, & B_{n-1} &= A_{n-1} - q_{n-1} E \\ A_n &= AB_{n-1}, & \frac{\text{Sp}(A_n)}{n} &= q_n, & B_n &= A_n - q_n E \end{aligned}$$

$$p_1 = q_1, p_2 = q_2, \dots, p_n = q_n. \quad (16)$$

или

$$Q_k = \left. \begin{aligned} &= (\lambda_k^{n-1} - \lambda_k^{n-2} p_1 - \lambda_k^{n-3} p_2 - \dots - \lambda_k^{n-\ell-1} p_\ell - \dots - \lambda_k^2 p_{n-3} - \lambda_k^1 p_{n-2} - p_{n-1}) E + \\ &+ (\lambda_k^{n-2} - \lambda_k^{n-3} p_1 - \lambda_k^{n-4} p_2 - \dots - \lambda_k^{n-\ell-2} p_\ell - \dots - \lambda_k^2 p_{n-4} - \lambda_k^1 p_{n-3} - p_{n-2}) A + \dots + \\ &+ (\lambda_k^{n-r} - \lambda_k^{n-r-1} p_1 - \lambda_k^{n-r-2} p_2 - \dots - \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell - \dots - \lambda_k^2 p_{n-r-2} - \lambda_k^1 p_{n-r-1} - p_{n-r}) A^{r-1} + \\ &\dots \dots \dots \\ &+ (\lambda_k - p_1) A^{n-2} + \\ &+ A^{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Отсюда

$$Q_k = \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell \right) A^{r-1}. \quad (24)$$

В краткой записи

$$Q_k = \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1}, \quad (25)$$

где

$$q_{kr} = \lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell. \quad (26)$$

Обоснование того, что матрица (25) с коэффициентами (26) является матрицей собственных векторов матрицы A , соответствующих собственному числу λ_k , следует из сопоставления (20) с (24). Подробнее такое сопоставление будет развернуто в дальнейшем.

В (24)–(26) каждый коэффициент p_ℓ является коэффициентом из (8) с таким же индексом и совпадает с коэффициентом $P_n(\lambda)$ из (4) с индексом численно равным ℓ , то есть с коэффициентом характеристического полинома при степени $\lambda^{n-\ell}$. Коэффициенты (26) образуют убывающую по степеням с показателем $n-r$ последовательность полиномов, взятых при значении $\lambda = \lambda_k$.

Последовательность начинается сразу после значения характеристического полинома

$$P_n(\lambda_k) = \lambda_k^n - \sum_{\ell=1}^n \lambda_k^{n-\ell} p_\ell, \quad (27)$$

но собственно полином (27) в эту последовательность не входит, он абстрактно соответствует (26) при $r = 0$. Вид полиномов (26) аналогичен по структуре (27) в смысле соответствия убывающих показателей степени λ и возрастающих индексов коэффициентов.

В результате матрица собственных векторов Q_k матрицы A в явной форме выражена через линейную комбинацию последовательных степеней матрицы A^ℓ , $\ell = 0, 1, \dots, n-1$, в виде матричного полинома с числовыми коэффициентами из (24), что эквивалентно (25), (26). При использовании данного представления матрицы Q_k нет необходимости предварительно вычислять матрицы B_k , $k \in 1, n-1$, из (17), так как все степени для (25), (26) уже априори найдены при вычислении (7), в частности, по схеме (14). Априори также найдены все коэффициенты характеристического полинома (4), используемые в (24)–(26). Они вычислены из (8) или, что эквивалентно, из (9), (10). Собственные числа λ_k , $k \in 1, n$, также предполагаются априори найденными и различными.

В итоге матрица Q_k представлена явной формулой, позволяющей вычислить ее параллельно, исключая последовательные шаги (17).

Оценки временной сложности параллельного вычисления матриц собственных векторов. Пусть параллельно вычислены все A^ℓ , $\ell = 0, 1, \dots, n$, по схеме (14) с оценкой (15), обратная матрица (13), а также все коэффициенты характеристического полинома $P_n(\lambda)$ с оценкой (11). Пусть, кроме того, некоторым способом найдены все корни полинома $P_n(\lambda)$ (требуемый способ обсуждается в дальнейшем вместе с оценкой временной сложности), и все они оказались различными. В этих предположениях для нахождения матрицы Q_k соб-

ственных векторов матрицы A оказываются известными все компоненты выражений (25), (26). Требуемыми вычисления оказываются коэффициенты q_{kr} из (26). Для их определения понадобится вычислить все степени собственного числа λ_k : $\lambda_k^2, \lambda_k^3, \dots, \lambda_k^{n-1}$. По схеме Стоуна это можно сделать параллельно на n процессорах (с помощью синхронного вычисления всех двоичных степеней и соединения из таких комбинаций степени с любым требуемым показателем) за время $t(n) = O(\log_2 n)$. Если это сделать одновременно для всех априори найденных собственных чисел, то число процессоров возрастет в n раз:

$$t(n^2) = O(\log_2 n). \quad (28)$$

Дальнейшее вычисление q_{kr} по формуле (26) потребует нахождения суммы парных произведений найденных таким образом степеней собственного числа на коэффициенты характеристического полинома, отдельно в сумму войдет слагаемое λ_k^{n-r} . Для каждого фиксированного значения r из (26) с использованием схемы сдваивания это займет время

$$t(n-r) = t_y + \lceil \log_2(n-r+1) \rceil t_c \sim t_y + \log_2(n-r+1) t_c. \quad (29)$$

Для вычисления с сохранением оценки времени (29) одновременно всех q_{kr} из (25) требуется количество процессоров $R = \sum_{r=1}^n (n-r) = \frac{(n-1)n}{2} \sim \frac{n^2}{2}$. Так что оценку временной сложности вычисления всех искомым q_{kr} можно записать в виде

$$t(n^2/2) \leq t_y + \lceil \log_2 n \rceil t_c \sim \log_2 n t_c = O(\log_2 n). \quad (30)$$

Если такое вычисление проделать одновременно для всех собственных чисел $\lambda_k, k \in \overline{1, n}$, то количество процессоров возрастет в n раз, и оценка (30) перейдет в оценку

$$t(n^3/2) \leq t_y + \lceil \log_2 n \rceil t_c \sim \log_2 n t_c = O(\log_2 n). \quad (31)$$

Локально, при вычислении значения полинома, число процессоров по сравнению с (28)–(31) можно сократить, если использовать следующую схему. Пусть рассматривается полином общего вида

$$P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0.$$

Непосредственным умножением матриц слева направо оправдывается разложение

$$\begin{pmatrix} x^{n+1} & P_n(x) \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x & a_0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x & a_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \dots \times \begin{pmatrix} x & a_{n-2} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x & a_{n-1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x & a_n \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (32)$$

Значение полинома получается в верхней правой клетке левой части (32). Применение к правой части схемы сдваивания влечет следующую оценку параллельного вычисления значения полинома

$$t(\lceil n/2 \rceil) \leq 2t_y + \lceil \log_2 n \rceil t_c \sim \log_2 n t_c = O(\log_2 n),$$

где учитывается, что каждое умножение данных матриц сохраняет их структуру, так что две нижние клетки заполнять не нужно. Помимо экономии процессоров схема удобна тем, что позволяет перемножать матрицы слева направо и справа налево. Кроме того, она реализуема и последовательно. В отличие, в частности, от схемы Горнера схема (32) двунаправленна, то есть позволяет вести умножение от младших коэффициентов к старшим (слева направо) и от старших к младшим (справа налево), в таком варианте коэффициенты могут поступать динамически по ходу их вычисления без априорного хранения в памяти. При последовательном вычислении коэффициентов (26) схема (32) позволяет за n шагов получить сразу все коэффициенты формулы (25), поскольку каждый последующий коэффициент получается из предыдущего на каждом шаге умножения матриц справа налево (что очевидно из (23)).

Остается найти значение матричного полинома (25) с учетом того, что все степени матриц априори найдены. Одновременное их умножение на вычисленные коэффициенты q_{kr} параллельно выполняется за время t_y при количестве процессоров $R \leq n^3$. С половиной такого количества процессоров полученные после умножения на коэффициенты степени матриц можно сложить по схеме сдваивания с оценкой $t(n^3/2) = \lceil \log_2 n \rceil t_c$. Объединение

рассмотренных оценок влечет следующую оценку временной сложности вычисления матрицы собственных векторов Q_k , представленную в (25), (26), –

$$T(n^3) \leq 2(t_y + \lceil \log_2 n \rceil t_c) \sim 2 \log_2 n t_c = O(\log_2 n). \quad (33)$$

Если такие вычисления выполнить одновременно для всех матриц Q_k , $k \in \overline{1, n}$, то число процессоров увеличится в n раз, оценка (33) перейдет в оценку $T(n^4) = O(\log_2 n)$.

Из изложенного вытекает

Теорема 1. Пусть $\det A \neq 0$ и $\det(A - \lambda E) = 0$. Пусть по методу Леверье с применением тождества Гамильтона – Кели и схемы Ксанки параллельно выполнено вычисление всех степеней матриц (14), параллельно решена треугольная система (9), (10), согласно которой получены все коэффициенты характеристического полинома (4) и параллельно найдена обратная матрица A^{-1} из (13) с суммарной оценкой временной сложности (15). Если, кроме того, найдены все собственные числа λ_k , $k \in \overline{1, n}$, матрицы A и при этом все они оказались различными, то имеет место следующее утверждение. Все собственные векторы матрицы A , соответствующие отдельно взятому собственному числу λ_k , могут быть найдены из соотношений (25), (26) по описанной выше параллельной схеме с временной сложностью $T(n^3) = O(\log_2 n)$. Одновременно все собственные векторы, соответствующие всем собственным числам λ_k , $k \in \overline{1, n}$, матрицы A , могут быть найдены параллельно из соотношений (25), (26), примененных ко всем $k = 1, 2, \dots, n$, с временной сложностью $T(n^4) = O(\log_2 n)$.

Следствие 1. В условиях теоремы 1 все вычисления по схеме Ксанки и вычисление матриц всех собственных векторов в совокупности выполняются параллельно с временной сложностью $T(R) = O(\log_2^2 n + \log_2 n)$, или, $T(R) = O(\log_2^2 n)$, где $R = n^4$.

Замечание 1. Исключение согласно условию теоремы составляют операции нахождения корней характеристического полинома, которые обсуждаются непосредственно ниже. С точностью до этой принципиальной оговорки операции по параллельному вычислению собственных векторов по величине порядка сохраняют оценку временной сложности (15) известной схемы Ксанки. Ниже оценивается возможность сохранить порядок оценки (15) с учетом временной сложности нахождения всех корней характеристического полинома, то есть всех собственных чисел матрицы A .

Оценка временной сложности параллельного вычисления всех собственных чисел матрицы A . В [21, с. 268] изложен метод вычисления всех корней характеристического полинома матрицы с учетом кратности, основанный на применении устойчивой адресной сортировки, которая допускает максимально параллельную форму. В этой работе приводится программа [21, с. 269] и описывается схема ее максимального распараллеливания. Формально такая схема позволяет все корни характеристического полинома найти с оценкой временной сложности следующего вида [21, с. 275]:

$$T\left(\max\left(n^4, 32 \times 10^3 \times \frac{(x_{11} - x_{00})^3}{3\varepsilon_0^3}\right)\right) = O(\log_2^2 n) + O(\log_d \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}), \quad (34)$$

где в скобках левой части – число процессоров. В (34) n – порядок матрицы, ε – априори заданная граница абсолютной погрешности вычислений, ε_0 – априори заданный радиус локализации каждого корня, $x_{11} - x_{00}$ – длина стороны квадрата, ограничивающего область корней характеристического полинома, $d > 1$ – априори заданный постоянный числовой параметр. Согласно [6, с. 132, 133] все собственные числа матрицы A лежат в объединении кругов Гершгорина

$$\left\{ z \in C : \left| z - a_{ii} \right| \leq r_i \right\}, \quad r_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}|, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (35)$$

где r_i – сумма модулей внедиагональных элементов i -й строки матрицы. Из (35) для корней характеристического полинома λ_k , $k \in \overline{1, n}$, верна оценка $|\lambda_k - a_{ii}| \leq r_i$. Отсюда $|\lambda_k| \leq r_i + |a_{ii}|$. Подстановка r_i из (35) влечет

$$|\lambda_k| \leq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| + |a_{ii}| = \sum_{\substack{j=1 \\ i=\text{const}}}^n |a_{ij}|.$$

С применением первой канонической нормы матрицы получится

$$|\lambda_k| \leq \|A\|, \forall k \in \overline{1, n}, \text{ где } \|A\| = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \quad [6, \text{ с. 133}].$$

Рассматриваемая программа сама находит уточненные границы расположения корней [21, с. 259], если априори границы сверху указать в произвольно фиксированном приближении. В качестве стороны квадрата, ограничивающего область корней, можно взять $x_{11} - x_{00} = \|A\|$. Подстановка в (34) влечет

$$T\left(\max\left(n^4, 32 \times 10^3 \times \frac{\|A\|^3}{3\varepsilon_0^3}\right)\right) = O(\log_2^2 n) + O(\log_d \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}). \quad (36)$$

В (36) величины $32 \times 10^3 \times \frac{\|A\|^3}{3\varepsilon_0^3}$, а также $\log_d \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}$ – априори задаваемые постоянные числовые параметры. За исключением $\|A\|$ эти параметры от n не зависят. Следовательно, оценку (36) можно переписать в виде $T\left(\max\left(n^4, O(\|A\|^3)\right)\right) = O(\log_2^2 n) + O(1)$, или

$$T\left(\max\left(n^4, O(\|A\|^3)\right)\right) = O(\log_2^2 n). \quad (37)$$

$$\text{Очевидно, } \|A\| = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \leq n \times \max_{i,j} |a_{ij}|.$$

$$\text{Отсюда (37) переходит в оценку } T\left(\max\left(n^4, \max_{i,j} |a_{ij}| \times O(n^3)\right)\right) = O(\log_2^2 n).$$

Если элементы матрицы считать априори равномерно ограниченными, $\max_{i,j} |a_{ij}| \leq C$, где $C = \text{const}$, то $T\left(\max\left(n^4, C \times O(n^3)\right)\right) = O(\log_2^2 n)$, следовательно,

$$T(O(n^4)) = O(\log_2^2 n), \quad (38)$$

где число процессоров $R = O(n^4)$ практически весьма велико, но при этом имеет порядок роста n^4 , как в оценке Ксанки (15). Таким образом, имеет место

Предложение 1. Пусть матрица A , $n \times n$, удовлетворяет условиям $\det A \neq 0$ и $\max_{i,j} |a_{ij}| \leq C$, где $C = \text{const}$. Тогда все корни характеристического полинома этой матрицы могут быть параллельно вычислены с априори заданной границей абсолютной погрешности ε с временной сложностью (38). В условиях теоремы 1 оценка (38) сохраняется для одновременного вычисления всех собственных чисел и всех собственных векторов, соответствующих всем собственным числам матрицы A .

Некоторые следствия явного выражения собственных векторов через степени матрицы. Пусть выполнены все условия теоремы 1. Из того, что

$$AQ_k = \lambda_k Q_k, \quad (39)$$

следует, что $A^2 Q_k = \lambda_k A Q_k$. Отсюда и из (39) $A^2 Q_k = \lambda_k^2 Q_k$. По индукции,

$$A^m Q_k = \lambda_k^m Q_k, \quad m = 1, 2, \dots, n, n+1, \dots \quad (40)$$

Подстановка (25) влечет $A^m \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1} = \lambda_k^m \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1}$, $m = 1, 2, \dots, n, n+1, \dots$, или,

$$\sum_{r=1}^n q_{kr} A^{m+r-1} = \lambda_k^m \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1}, \quad m = 1, 2, \dots, n, n+1, \dots \quad (41)$$

С учетом (26)

$$\sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{m+r-1} = \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{m+n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{m+n-r-\ell} p_\ell) A^{r-1}, \quad m = 1, 2, \dots, n, n+1, \dots \quad (42)$$

Следствие 2. Для любой матрицы A и любого ее собственного числа λ_k в условиях теоремы 1 выполнены равенства (41), (42), где p_ℓ совпадают с коэффициентами характеристического полинома $P_n(\lambda)$ из (4) при равных значениях индексов. Эквивалентной формой (42) является равенство

$$\sum_{r=1}^n \left((\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{m+r-1} - (\lambda_k^{m+n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{m+n-r-\ell} p_\ell) A^{r-1} \right) = O, \quad m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots,$$

которое означает, что в условиях теоремы 1 любая матрица A является корнем матричного полинома из левой части равенства при любом значении m .

В тех же условиях из (40), (25), (26) получается еще одно представление матрицы собственных векторов: $Q_k = \lambda_k^{-m} A^m \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1}$, $\forall m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots$, или,

$$Q_k = \lambda_k^{-m} \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{r+m-1}, \quad \forall m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots$$

Далее, из (39) следует $A \frac{1}{\lambda_k} Q_k = Q_k$ и $\frac{1}{\lambda_k} Q_k = A^{-1} Q_k$, или,

$$A^{-1} Q_k = \lambda_k^{-1} Q_k. \quad (43)$$

Из (43), по аналогии с (40),

$$(A^{-1})^m Q_k = \lambda_k^{-m} Q_k, \quad m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots \quad (44)$$

Подстановка (25) влечет

$$(A^{-1})^m \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1} = \lambda_k^{-m} \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1}, \quad m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots \quad (45)$$

С учетом (26)

$$(A^{-1})^m \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{r-1} = \lambda_k^{-m} \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{r-1}, \quad m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots \quad (46)$$

Следствие 3. Для любой матрицы A и ее собственного числа λ_k , а также для обратной к ней матрицы A^{-1} и ее собственного числа λ_k^{-1} в условиях теоремы 1 выполнены равенства (45), (46), где p_ℓ совпадают с коэффициентами характеристического полинома $P_n(\lambda)$ из (4) при равных значениях индексов. Эквивалентной формой (46) является равенство

$$\left((A^{-1})^m - \lambda_k^{-m} E \right) \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{r-1} = O, \quad m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots,$$

означающее, что в условиях теоремы 1 любая матрица A является корнем матричной функции из левой части равенства при любом натуральном m . Кроме того, замена в левой части (44) Q_k из (25), (26) влечет еще одно представление матрицы собственных векторов:

$$Q_k = \lambda_k^m (A^{-1})^m \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1}, \quad \forall m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots,$$

или

$$Q_k = \lambda_k^m (A^{-1})^m \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{r-1}, \quad \forall m=1, 2, \dots, n, n+1, \dots$$

В другой форме связь матрицы собственных векторов с обратной матрицей вытекает непосредственно из (21). Последняя строка этого разложения совпадает с выражением в скобках (13), то есть с обратной матрицей, умноженной на p_n . Поэтому разложение можно переписать в виде

$$\begin{aligned}
Q_k = & \\
& = \lambda_k^{n-1}E + \lambda_k^{n-2}(A - p_1E) + \lambda_k^{n-3}(A^2 - p_1A - p_2E) + \dots + \\
& + \lambda_k^{n-r}(A^{r-1} - p_1A^{r-2} - p_2A^{r-3} - \dots - p_{r-3}A^2 - p_{r-2}A - p_{r-1}E) + \dots + \\
& + \lambda_k^1(A^{n-2} - p_1A^{n-3} - p_2A^{n-4} - \dots - p_{n-4}A^2 - p_{n-3}A - p_{n-2}E) + \\
& + p_nA^{-1}
\end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}
Q_k = & \\
& = \lambda_k^{n-1}E - \lambda_k^{n-2}p_1E - \lambda_k^{n-3}p_2E - \dots - \lambda_k^{n-\ell-1}p_\ell E - \dots - \lambda_k^2p_{n-3}E - \lambda_k^1p_{n-2}E + \\
& + \lambda_k^{n-2}A - \lambda_k^{n-3}p_1A - \lambda_k^{n-4}p_2A - \dots - \lambda_k^{n-\ell-2}p_\ell A - \dots - \lambda_k^2p_{n-4}A - \lambda_k^1p_{n-3}A + \dots + \\
& + \lambda_k^{n-r}A^{r-1} - \lambda_k^{n-r-1}p_1A^{r-1} - \lambda_k^{n-r-2}p_2A^{r-1} - \dots - \lambda_k^{n-r-\ell}p_\ell A^{r-1} - \dots - \\
& - \lambda_k^2p_{n-r-2}A^{r-1} - \lambda_k^1p_{n-r-1}A^{r-1} + \dots + \\
& + \lambda_k^1A^{n-2} + \\
& + p_nA^{-1}
\end{aligned}$$

Отсюда

$$Q_k = \sum_{r=1}^{n-1} (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r-1} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{r-1} + p_n A^{-1}, \quad (47)$$

или

$$A^{-1} = \frac{1}{p_n} \left(Q_k - \sum_{r=1}^{n-1} (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r-1} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^{r-1} \right). \quad (48)$$

Следствие 4. В условиях теоремы 1 матрица собственных векторов Q_k матрицы A и обратная матрица A^{-1} связаны соотношениями (47) и (48).

Можно указать дополнительные разложения матрицы собственных векторов Q_k по степеням матрицы A . Именно, в (22) каждую строчку с фиксированной степенью матрицы можно преобразовать так, что коэффициент примет вид характеристического полинома. С учетом того, что значение характеристического полинома $P(\lambda)$ из (4) берется при значении корня, $P_n(\lambda) = P_n(\lambda_k) = 0$, преобразование первой строчки (22) примет вид

$$\begin{aligned}
& \lambda_k^{n-1}E - \lambda_k^{n-2}p_1E - \lambda_k^{n-3}p_2E - \dots - \lambda_k^{n-\ell-1}p_\ell E - \dots - \lambda_k^2p_{n-3}E - \lambda_k^1p_{n-2}E - p_{n-1}E = \\
& = \lambda_k \times (\lambda_k^{n-1}E - \lambda_k^{n-2}p_1E - \lambda_k^{n-3}p_2E - \dots - \lambda_k^{n-\ell-1}p_\ell E - \dots - \lambda_k^2p_{n-3}E - \lambda_k^1p_{n-2}E - p_{n-1}E) / \lambda_k = \\
& = (\lambda_k^n E - \lambda_k^{n-1}p_1E - \lambda_k^{n-2}p_2E - \dots - \lambda_k^{n-\ell}p_\ell E - \dots - \lambda_k^3p_{n-3}E - \lambda_k^2p_{n-2}E - \lambda_k^1p_{n-1}E - p_nE + p_nE) / \lambda_k = \\
& = (\lambda_k^n - \lambda_k^{n-1}p_1 - \lambda_k^{n-2}p_2 - \dots - \lambda_k^{n-\ell}p_\ell - \dots - \lambda_k^3p_{n-3} - \lambda_k^2p_{n-2} - \lambda_k^1p_{n-1} - p_n) / \lambda_k E + p_n / \lambda_k E = \\
& = 0 \times E + p_n / \lambda_k E = \lambda_k^{-1} p_n E.
\end{aligned}$$

Аналогично, для второй строчки (22) получится

$$\begin{aligned}
& \lambda_k^{n-2}A - \lambda_k^{n-3}p_1A - \lambda_k^{n-4}p_2A - \dots - \lambda_k^{n-\ell-2}p_\ell A - \dots - \lambda_k^2p_{n-4}A - \lambda_k^1p_{n-3}A - p_{n-2}A = \\
& = \lambda_k^2 \times (\lambda_k^{n-2}A - \lambda_k^{n-3}p_1A - \lambda_k^{n-4}p_2A - \dots - \lambda_k^{n-\ell-2}p_\ell A - \dots - \lambda_k^2p_{n-4}A - \lambda_k^1p_{n-3}A - p_{n-2}A) / \lambda_k^2 = \\
& = (\lambda_k^n - \lambda_k^{n-1}p_1 - \lambda_k^{n-2}p_2 - \dots - \lambda_k^{n-\ell}p_\ell - \dots - \lambda_k^4p_{n-4} - \lambda_k^3p_{n-3} - \lambda_k^2p_{n-2} - \lambda_k^1p_{n-1} - p_n)A + \\
& + \lambda_k^1p_{n-1}A + p_nA) / \lambda_k^2 = (\lambda_k^{-1}p_{n-1} + \lambda_k^{-2}p_n)A,
\end{aligned}$$

для r -й строки –

$$\begin{aligned} & \lambda_k^{n-r} A^{r-1} - \lambda_k^{n-r-1} p_1 A^{r-1} - \lambda_k^{n-r-2} p_2 A^{r-1} - \dots - \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell A^{r-1} - \dots - \\ & - \lambda_k^2 p_{n-r-2} A^{r-1} - \lambda_k^1 p_{n-r-1} A^{r-1} - p_{n-r} A^{r-1} = \\ & = \lambda_k^r (\lambda_k^{n-r} A^{r-1} - \lambda_k^{n-r-1} p_1 A^{r-1} - \lambda_k^{n-r-2} p_2 A^{r-1} - \dots - \\ & - \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell A^{r-1} - \dots - \lambda_k^2 p_{n-r-2} A^{r-1} - \lambda_k^1 p_{n-r-1} A^{r-1} - p_{n-r} A^{r-1}) / \lambda_k^r = \\ & = (\lambda_k^n - \lambda_k^{n-1} p_1 - \lambda_k^{n-2} p_2 - \dots - \lambda_k^{n-\ell} p_\ell - \dots - \lambda_k^{r+2} p_{n-r-2} - \lambda_k^{r+1} p_{n-r-1} - \lambda_k^r p_{n-r} - \lambda_k^{r-1} p_{n-r+1} - \\ & - \lambda_k^{r-2} p_{n-r+2} - \dots - \lambda_k^1 p_{n-1} - p_n + \lambda_k^{r-1} p_{n-r+1} + \lambda_k^{r-2} p_{n-r+2} + \dots + \lambda_k^1 p_{n-1} + p_n) / \lambda_k^r A^{r-1} = \\ & = (\lambda_k^{-1} p_{n-r+1} + \lambda_k^{-2} p_{n-r+2} + \dots + \lambda_k^{-r+1} p_{n-1} + \lambda_k^{-r} p_n) A^{r-1}. \end{aligned}$$

Здесь $r = 3, 4, \dots, n-1, n$.

В результате

$$\begin{aligned} Q_k &= \\ &= \lambda_k^{-1} p_n E + \\ &+ (\lambda_k^{-1} p_{n-1} + \lambda_k^{-2} p_n) A + \dots + \\ &+ (\lambda_k^{-1} p_{n-r+1} + \lambda_k^{-2} p_{n-r+2} + \dots + \lambda_k^{-r+1} p_{n-1} + p_n \lambda_k^{-r}) A^{r-1} + \dots + \\ &+ (\lambda_k^{-1} p_2 + \dots + \lambda_k^{-\ell+1} p_\ell + \dots + \lambda_k^{-n+4} p_{n-3} + \lambda_k^{-n+3} p_{n-2} + \lambda_k^{-n+2} p_{n-1} + \lambda_k^{-n+1} p_n) A^{n-2} + \\ &+ (\lambda_k^{-1} p_1 + \lambda_k^{-2} p_2 + \dots + \lambda_k^{-\ell} p_\ell + \dots + \lambda_k^{-n+3} p_{n-3} + \lambda_k^{-n+2} p_{n-2} + \lambda_k^{-n+1} p_{n-1} + \lambda_k^{-n} p_n) A^{n-1}, \end{aligned}$$

или

$$Q_k = \sum_{r=1}^n \left(\sum_{\ell=1}^r \lambda_k^{-\ell} p_{n-r+\ell} \right) A^{r-1}. \quad (49)$$

Из (24) и (49) следует равенство правых частей,

$$\sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell \right) A^{r-1} = \sum_{r=1}^n \left(\sum_{\ell=1}^r \lambda_k^{-\ell} p_{n-r+\ell} \right) A^{r-1}, \quad (50)$$

а по построению (49) получается равенство коэффициентов в правых частях:

$$\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell = \sum_{\ell=1}^r \lambda_k^{-\ell} p_{n-r+\ell}, \quad r = 1, 2, \dots, n. \quad (51)$$

Следствие 5. В условиях теоремы 1 для любой матрицы A матрица Q_k собственных векторов, соответствующих отдельно взятому собственному числу λ_k , представима в виде (49), матрица A удовлетворяет равенству (50), коэффициенты удовлетворяют уравнениям (51).

Как отмечалось, обоснование того, что матрица (25) с коэффициентами (26) является матрицей собственных векторов матрицы A , соответствующих собственному числу λ_k , следует из (16)–(23). Ниже прилагается структурное дополнение к обоснованию. Условие (39) эквивалентно условию

$$(A - \lambda_k E) Q_k = O. \quad (52)$$

Подстановка в (52) Q_k из (25) влечет

$$(A - \lambda_k E) \sum_{r=1}^n q_{kr} A^{r-1} = O, \quad (53)$$

или

$$\sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^r - \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r+1} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell+1} p_\ell) A^{r-1} = O. \quad (54)$$

Для раскрытия связи выражений с парой соседних индексов в (54) рассматривается сумма двух соседних строк (22) –

$$\begin{aligned} & \dots + \lambda_k^{n-r} A^{r-1} - \lambda_k^{n-r-1} p_1 A^{r-1} - \lambda_k^{n-r-2} p_2 A^{r-1} - \dots - \\ & - \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell A^{r-1} - \dots - \lambda_k^2 p_{n-r-2} A^{r-1} - \lambda_k^1 p_{n-r-1} A^{r-1} - \\ & p_{n-r} A^{r-1} + \lambda_k^{n-r-1} A^r - \lambda_k^{n-r-2} p_1 A^r - \lambda_k^{n-r-3} p_2 A^r - \dots - \\ & - \lambda_k^{n-r-\ell-1} p_\ell A^r - \dots - \lambda_k^1 p_{n-r-2} A^r - p_{n-r-1} A^r + \dots \end{aligned}$$

Первая из этих двух строк совпадет со второй при умножении первой строки на A , а второй строки – на λ_k , если дополнительно вычесть из умноженной на λ_k второй строки выражение $p_{n-r} A^r$. Именно так связаны слагаемые с одноименными соседними индексами в (54). Выражение в скобках второго слагаемого, содержащего A^{r-1} , получается из слагаемого, содержащего A^r , умножением на λ_k , и при этом первое слагаемое априори уже включало умножение на A согласно (52), (53). Если первое слагаемое умножить на λ_k , а второе на A и вычесть из него $p_{n-r} A^r$, то оба слагаемых совпадут. Рассматриваемые операции в точности соответствуют индексу r первого слагаемого и индексу $r+1$ второго слагаемого для допустимых значений $r=1, 2, \dots, n-1$. При этом они имеют противоположный знак. Таким образом,

$$\begin{aligned} & (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^r - (\lambda_k^{n-(r+1)+1} - \sum_{\ell=1}^{n-(r+1)} \lambda_k^{n-(r+1)-\ell+1} p_\ell) A^{(r+1)-1} + p_{n-r} A^r = O, \\ & r = 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (55)$$

Из (54) и (55) следует, что с вычитанием добавленных слагаемых, а также с учетом слагаемых, не вошедших при сдвиге по r начальных и конечных индексов, получится

$$\begin{aligned} & \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell) A^r - \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r+1} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell+1} p_\ell) A^{r-1} + \sum_{r=1}^{n-1} p_{n-r} A^r - \\ & - \sum_{r=1}^{n-1} p_{n-r} A^r - (\lambda_k^{n-1+1} - \sum_{\ell=1}^{n-1} \lambda_k^{n-1-\ell+1} p_\ell) A^{1-1} + \lambda_k^{n-n} A^n = O. \end{aligned}$$

Если к левой части этого равенства добавить $-p_n E + p_n E$, равенство преобразуется к виду

$$A^n - \sum_{r=1}^{n-1} p_{n-r} A^r - (\lambda_k^n - \sum_{\ell=1}^{n-1} \lambda_k^{n-\ell} p_\ell) E - p_n E + p_n E = O,$$

или,

$$A^n - \sum_{r=1}^{n-1} p_{n-r} A^r - p_n E - (\lambda_k^n - \sum_{\ell=1}^{n-1} \lambda_k^{n-\ell} p_\ell - p_n) E = O.$$

Окончательно,

$$(A^n - \sum_{r=0}^{n-1} p_{n-r} A^r) - (\lambda_k^n - \sum_{\ell=0}^{n-1} p_{n-\ell} \lambda_k^\ell) E = O. \quad (56)$$

Равенство (56) оправдано по соотношению Гамильтона – Кели применительно к первой паре скобок и по определению характеристического полинома, взятого в корне этого полинома, применительно ко второй паре скобок.

В силу обратимости изложенных преобразований имеет место

Предложение 2. В условиях теоремы 1 подстановка в левую часть (52) Q_k из (25) влечет преобразование левой части к виду

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_{\ell}) A^r - \sum_{r=1}^n (\lambda_k^{n-r+1} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell+1} p_{\ell}) A^{r-1} = \\ = (A^n - \sum_{r=0}^{n-1} p_{n-r} A^r) - (\lambda_k^n - \sum_{\ell=0}^{n-1} p_{n-\ell} \lambda_k^{\ell}) E \end{aligned} \quad (57)$$

С учетом (56) это равенство эквивалентно равенству (54), которое означает, что любая матрица A в рассматриваемых условиях является корнем матричного полинома левой части (54). Каждое из равенств (57) и (54) показывает, что Q_k из (25) удовлетворяет характеристическому уравнению (52), и, таким образом, Q_k является матрицей, столбцы которой совпадают с собственными векторами матрицы A , соответствующими ее характеристическому значению λ_k при любом фиксированном $k \in \overline{1, n}$.

Структура матриц собственных векторов в случае преобразования подобия. Преобразование подобия $H^{-1}AH$, где H – невырожденная матрица, $n \times n$, не меняет собственных значений матрицы A , а собственные векторы подобной матрицы $H^{-1}AH$ получаются из собственных векторов матрицы A их умножением на матрицу H^{-1} [14, с. 24]. Рассматриваемая матрица A невырожденная, все ее собственные значения различны, поэтому существует преобразование подобия, которое преобразует эту матрицу к канонической форме Жордана, такой, что на диагонали матрицы расположены собственные числа, остальные ее элементы – нули. Ниже диагональная форма матрицы, полученной в результате преобразования подобия матрицы A , обозначается $\text{diag } A(\lambda)$. Если $H^{-1}AH = \text{diag } A(\lambda)$, то на диагонали матрицы $\text{diag } A(\lambda)$ расположены все собственные числа λ_k , $k \in \overline{1, n}$, при этом матрица H состоит из n столбцов, каждый из которых совпадает с собственным вектором матрицы A , соответствующим одному и только одному из данных собственных чисел λ_k [14, с. 24]. Столбцы матрицы H линейно независимы [14, с. 22], поэтому $\det H \neq 0$ и существует H^{-1} . Таким образом, в рассматриваемом случае, когда все λ_k , $k \in \overline{1, n}$, различны, преобразование подобия $H^{-1}AH$ заведомо существует. Ниже детализируются структуры матриц собственных векторов в случае выполнения этого преобразования. Пусть согласно (24)–(26) вычислены матрицы собственных векторов Q_k , соответствующих каждому собственному числу λ_k , $k \in \overline{1, n}$. Из n матриц Q_k можно выбрать по одному столбцу и составить из них столбцы матрицы H . Столбцы отвечают n различным собственным числам, так что $\det H \neq 0$, и сформированная матрица H удовлетворяет требованиям искомого преобразования (можно из каждой матрицы Q_k выбирать по одному первому слева направо столбцу). Для преобразования подобия нужна, кроме того, обратная матрица H^{-1} . Поскольку H уже сформирована, то H^{-1} можно найти по формуле (13), заменив в ней A на H , если только предварительно по схеме (8) найти соответственные этой матрице коэффициенты. С изменением обозначений коэффициентов получится

$$H^{-1} = \frac{1}{p_{hn}} (H^{n-1} - p_{h1}H^{n-2} - \dots - p_{h(n-1)}E),$$

где $p_{hn} = (-1)^{n+1} \det H \neq 0$. В результате окончательно сформируется $H^{-1}AH = \text{diag } A(\lambda)$. Для преобразованной матрицы в полной аналогии (24)–(26) получится

$$Q_{\lambda k} = \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_{\lambda \ell} \right) A_{\lambda}^{r-1}, \quad (58)$$

где для компактности записи обозначено

$$A_{\lambda} = \text{diag } A(\lambda). \quad (59)$$

Для дальнейшего соответственная (59) матрица H преобразования подобия обозначается H_{λ} , так что

$$H_{\lambda}^{-1}AH_{\lambda} = A_{\lambda}. \quad (60)$$

В силу диагональной структуры матрицы (59), (60)

$$A_{\lambda}^{r-1} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{r-1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{r-1} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_{n-1}^{r-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \lambda_n^{r-1} \end{pmatrix}, \quad r=1, 2, \dots, n. \quad (61)$$

Из (61) $\text{Sp}(A_{\lambda}^{r-1}) = \sum_{i=1}^n \lambda_i^{r-1}$, $r=1, 2, \dots, n$. Поэтому $\text{Sp}(A_{\lambda}^{r-1}) = \text{Sp}(A^{r-1})$, и поскольку в (6) $S_k = \text{Sp}(A^k)$, то решение уравнений (6) в виде (8) дает одинаковые значения коэффициентов $p_1, p_2, \dots, p_n$ характеристического полинома (4) матрицы A и характеристического полинома

$$P_n(\lambda) = \lambda^n - p_{\lambda 1} \lambda^{n-1} - p_{\lambda 2} \lambda^{n-2} - \dots - p_{\lambda(n-1)} \lambda - p_{\lambda n}$$

матрицы A_{λ} . Отсюда $p_1 = p_{\lambda 1}, p_2 = p_{\lambda 2}, \dots, p_n = p_{\lambda n}$, и соотношение (58) можно переписать в виде

$$Q_{\lambda k} = \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_{\ell} \right) A_{\lambda}^{r-1}. \quad (62)$$

Согласно (62) для вычисления матрицы собственных векторов $Q_{\lambda k}$, соответствующих собственному числу λ_k матрицы (59), вычислять коэффициенты $p_{\lambda \ell}$ заново не потребуется. Не требуется также заново вычислять степени матрицы A_{λ}^{r-1} , поскольку рассматриваемый поиск собственных векторов предполагает априори найденными все λ_k , $k \in \overline{1, n}$. Степени диагональных элементов (61) также уже вычислены при нахождении коэффициентов (26). В рассматриваемом преобразовании подобия (60) матрица собственных векторов $Q_{\lambda k}$ матрицы A_{λ} получается из матрицы собственных векторов Q_k матрицы A путем умножения на H_{λ}^{-1} , то есть

$$Q_{\lambda k} = H_{\lambda}^{-1} Q_k, \quad \forall k = \text{const}, \quad k \in \overline{1, n}, \quad (63)$$

поэтому

$$\sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_{\ell} \right) A_{\lambda}^{r-1} = H_{\lambda}^{-1} \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_{\ell} \right) A^{r-1} \quad \forall k = \text{const}, \quad k \in \overline{1, n}, \quad (64)$$

что эквивалентно

$$H_{\lambda} \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_{\ell} \right) A_{\lambda}^{r-1} = \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_{\ell} \right) A^{r-1} \quad \forall k = \text{const}, \quad k \in \overline{1, n}. \quad (65)$$

Матрицу собственных векторов (63) можно определить непосредственно. Именно, матрица умножается на число поэлементно и матрицы складываются поэлементно. Поэтому в левой части (64) все множители можно внести под знак степени матрицы,

$$\sum_{r=1}^n \left(\left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_{\ell} \right) \times A_{\lambda}^{r-1} \right),$$

и после суммирования полученных матриц, с учетом структуры матрицы (61), вся левая часть (64) преобразуется в одну матрицу вида

$$\begin{pmatrix}
 \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell \right) \lambda_1^{r-1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\
 0 & \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell \right) \lambda_2^{r-1} & \dots & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \dots & \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell \right) \lambda_{n-1}^{r-1} & 0 \\
 0 & 0 & \dots & 0 & \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell \right) \lambda_n^{r-1}
 \end{pmatrix} \quad (66)$$

Матрица (66) является диагональной. Поскольку равные матрицы равны поэлементно, то правая часть (64) также является диагональной матрицей. Имеет место

Предложение 3. В условиях теоремы 1 для любой матрицы A выполняется равенство (64), где в левой части располагается матрица собственных векторов матрицы A_λ , полученной в результате преобразования подобия (60). При этом матрица собственных векторов левой части соответствует собственному числу λ_k матрицы A , которое равно собственному числу матрицы A_λ . Данная матрица имеет диагональную структуру и записывается в виде (66), где собственное число λ_k матрицы A присутствует с различными показателями степени в скобках выражений на диагонали. В правой части равенства (64) располагается матрица Q_k собственных векторов матрицы A из (24), соответствующих тому же собственному числу λ_k , которая умножается на H_λ^{-1} из (60). Матрица правой части также становится диагональной, элементы ее диагонали совпадают с элементами диагонали (66). Данная структура рассматриваемых подобных матриц имеет место для каждого собственного числа λ_k , $\forall k = \text{const}$, $k \in 1, n$.

Следствие 6. Все различные собственные векторы матрицы A_λ из (59), (60), соответствующие собственному числу λ_k этой матрицы (или, что то же, матрицы A), совпадают со всеми различными столбцами матрицы (66) в порядке их расположения.

Следствие 7. В силу обратимости матрицы (66) с сохранением диагональной структуры матрица правой части (64) также обратима с сохранением диагональной структуры. В случае обращения обе части равенства будут определяться из (66) путем деления единицы на элемент диагонали в каждой строке:

$$1 / \sum_{r=1}^n \left(\lambda_k^{n-r} - \sum_{\ell=1}^{n-r} \lambda_k^{n-r-\ell} p_\ell \right) \lambda_m^{r-1}, \\
 m = 1, 2, \dots, n.$$

Таким образом, в условиях теоремы 1 могут быть найдены не только все собственные векторы матрицы A , соответственные каждому собственному числу λ_k этой матрицы, но одновременно с тем могут быть определены все соответственные тому же собственному значению собственные векторы матрицы A_λ , являющейся результатом преобразования подобия (60). При этом собственные векторы соответствуют каждому собственному числу λ_k матрицы A_λ и вычисляются как столбцы матрицы $Q_{\lambda k}$ по схеме (58), которая эквивалентна (62). Все вычислительные компоненты схемы (62) становятся известными на стадии вычисления собственных векторов матрицы A . Как отмечалось, все степени на диагонали в (61) уже вычислены на этапе определения коэффициентов (26) для матрицы Q_k из (24). Тогда же найдены все значения коэффициентов в скобках (62). Остается только их умножить на диагональные элементы матриц (61), затем сложить по схеме сдвигания полученные матрицы. В результате дополнительное вычисление матрицы $Q_{\lambda k}$ из (62) можно выполнить параллельно с логарифмической оценкой времени, что не изменит порядка оценки теоремы 1. Порядок оценки не изменится и по количеству процессоров, включая случай одновременного вычисления всех таких матриц $Q_{\lambda k}$ для всех собственных чисел λ_k , $k \in 1, n$.

Из изложенного вытекает

Теорема 2. В условиях теоремы 1 для любой матрицы A наряду с матрицей собственных векторов Q_k из (24), соответствующих ее собственному числу λ_k , по схеме (62) можно параллельно вычислить матрицу собственных векторов $Q_{\lambda k}$ соответствующих тому же собственному числу λ_k матрицы A_λ , полученной в результате преобразования подобия (60). При этом порядок оценки временной сложности (38) не изменится ни по времени, ни по количеству процессоров, включая случай одновременного вычисления всех таких матриц $Q_{\lambda k}$ для всех собственных чисел λ_k , $k \in 1, n$.

Следствие 8. Утверждение теоремы 2 распространяется на одновременное параллельное вычисление матриц преобразования подобия H_λ , H_λ^{-1} . Кроме того, утверждение теоремы 2 сохраняется и конкретизируется при выполнении (63)–(65) и (66).

Следствие 9. Вычисления теоремы 2 можно выполнять непосредственно из (66) без изменения отмеченного порядка временной сложности.

Следствие 10. Согласно (65), (66) матрица Q_k собственных векторов матрицы A , соответственных собственному числу λ_k этой матрицы, будет диагональной, если существует преобразование подобия (60), при котором матрица H_λ является диагональной, и именно в такой диагональной форме эта матрица использована в левой части (65).

Предложенное преобразование метода Леверье с видоизменением Д.К. Фаддеева позволяет параллельно выполнять численное решение полной проблемы собственных значений. При этом принимается стандартное ограничение исходного метода – предположение о том, что все собственные числа различны. Непосредственно от прототипа преобразование отличается тем, что исключает последовательность из n шагов (17) по вычислению вспомогательных величин и матриц, как результат представляет матрицу собственных векторов, соответствующую отдельно взятому собственному значению, в виде матричного полинома с числовыми коэффициентами. Параллельное решение полной проблемы собственных значений включает известную схему Ксанки, по которой параллельно находятся собственные числа и решение системы линейных алгебраических уравнений. К этой известной схеме добавляется предложенная схема параллельного вычисления собственных векторов. От других известных методов решения рассматриваемой проблемы предложенная разновидность отличается свойством универсальности, которым изначально обладает метод Леверье. Существенно, что метод Леверье, как и видоизменение Д.К. Фаддеева, представляет собой прямой (точный) метод, применение которого дает искомое решение за конечное число шагов вычислительного алгоритма. Дополнительно можно заметить, что известные аналоги, как правило, не предполагают априорного вычисления собственных значений, в то время как предложенное преобразование опирается на приближенное вычисление корней характеристического полинома с помощью устойчивой адресной сорти-

ровки. Вычисление корней выполняется с точностью до формата представления данных в языке программирования для полиномов высокой степени [22], при этом программа допускает максимальное распараллеливание, что позволяет сохранить оценку временной сложности $O(\log_2^2 n)$ для всей совокупности искомых объектов, включая вычисление собственных чисел и собственных векторов. Попутно с сохранением той же временной оценки в рамках предложенного подхода конструктивно вычисляется преобразование подобия. Кроме того, в рамках предложенного преобразования получается ряд структурных соотношений между матричными полиномами, представляющими собственные векторы, и конструктивно указывается связь между собственными векторами и обратной матрицей. Недостатком обсуждаемого метода является большой объем вычислений в случае последовательного выполнения, хотя возможна естественная рационализация предложенного алгоритма. Параллельное вычисление необходимо для сокращения времени численного моделирования многих процессов механики, опирающихся на решение полной проблемы собственных значений. Рассматриваемые преобразования и их результаты не относятся к случаю, когда среди собственных чисел матрицы имеются кратные. Работа включает явные формулы собственных векторов матрицы, а также их видоизменений в случае преобразования подобия. Это может оказаться целесообразным для оценок возмущений в приложениях к задачам механики.

Заключение

В работе представлено преобразование метода Леверье решения полной проблемы собственных значений с видоизменением Д.К. Фаддеева, при котором достигается максимально параллельная форма численного решения этой проблемы с сохранением временной сложности $O(\log_2^2 n)$ для определения коэффициентов характеристического полинома и одновременно всех собственных векторов матрицы. Показано, что корни характеристического полинома можно с высокой точностью приближения определять по параллельной схеме, при этом по величине порядка сохраняется указанная временная оценка для всей совокупности вычисляемых объектов. Работа включает явные формулы собственных векторов матрицы, а также их видоизменений в случае преобразования подобия, что применимо для оценок возмущений в приложениях к задачам механики.

Список литературы

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 608 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibooks.ru/bookshelf/18522/reading> (дата обращения: 22.02.2025).
2. Goda Akihiro, Miyasaka Yukio, Gharehbaghi Amir Masoud, Fujita Masahiro. Synthesis and Generalization of Parallel Algorithms Considering Communication Constraints / Conference: 2020 21st International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED). Tokyo. March 2020. P. 123–128. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/342826383_Synthesis_and_Generalization_of_Parallel_Algorithms_Considering_Communication_Constraints (дата обращения: 22.02.2025). DOI: 10.1109/ISQED48828.2020.9137022.
3. Горобец А.В. Параллельные методы решения задач. Учебный курс для студентов магистратуры факультета Вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. 232 с. [Электронный ресурс]. URL: https://keldysh.ru/math-center/prj-reports/EPrij-04_lectures.pdf (дата обращения: 29.01.2025).
4. Кулагин В.П. Проблемы параллельных вычислений // Перспективы науки и образования. 2016. № 1 (19). P. 7–11. URL: https://psyjournals.ru/journals/science_and_education/archive/2016_n1/kulagin (дата обращения: 22.02.2025).
5. Horne J. Supercomputers: A Philosophical Perspective. January 2015. P. 378–410. URL: https://www.researchgate.net/publication/284917728_Supercomputers:_A_Philosophical_Perspective_Article (дата обращения: 22.02.2025). DOI: 10.4018/978-1-4666-7461-5.ch016.
6. Фаддеев Д.К., Фаддеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. М.: Физматгиз, 1960. 656 с.
7. U.J.J. Le Verrier. Sur les variations séculaires des éléments elliptiques des sept planètes principales: Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne et Uranus // J. Math. Pures Appl. 1840. No 1. Sér. 5. P. 220–254. URL: https://books.google.ru/books?hl=ru&lr=&id=szNYAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA1&ots=rYsmhPriJ&sig=Z4L8IBWaRwhKWG6jE7t7VH6N_a0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (дата обращения: 23.02.2025).
8. Laskar J. Des premiers travaux de Le Verrier à la découverte de Neptune // Comptes Rendus Physique. 2017. Vol. 18, Is. 9–10. P. 504–519. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070517300919> (дата обращения: 23.02.2025). DOI: 10.1016/J.CRHY.2017.10.011.
9. Шарлье К. Небесная механика. М.: Наука, 1966. 628 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://astrobooks.ru/files/original/e761114020a094613caa8ad93d8dce93.pdf> (дата обращения: 24.02.2025).
10. Кондратьев Б.П. Вехи в развитии небесной механики // Астрономический журнал. 2023. Т. 100. № 7. С. 630–646. URL: <https://journals.eco-vector.com/0004-6299/article/view/647558> (дата обращения: 24.02.2025). DOI: 10.31857/S0004629923070046.
11. Уфимский государственный авиационный технический университет. Лекции по оптике и ядерной физике / Уравнение Шредингера. [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/1014801/> (дата обращения: 25.02.2025).
12. Вульфсон И.И. Краткий курс теории механических колебаний. М.: ВНТП, 2017. 241 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vntr.ru/lib/VulfsonII.pdf> (дата обращения: 29.03.2025). DOI: 10.18411/a-2017-012.
13. Зубчанинов В.Г. Общая математическая теория пластичности и постулаты макроскопической определенности и изотропии А.А. Ильюшина // Вестник Московского университета. Серия 1. Математика. Механика. 2018. № 5. С. 29–46. URL: https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=vmumm&paperid=572&option_lang=rus (дата обращения: 29.03.2025). DOI: 10.3103/S0027133018050011.
14. Уилкинсон Д.Х. Алгебраическая проблема собственных значений. М.: Наука, 1970. 564 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/Wilkinson1970ru.pdf> (дата обращения: 09.03.2025).
15. Georgios Tzounas, Ioannis Dassios, Muyang Liu, Federico Milano. Comparison of Numerical Methods and Open-Source Libraries for Eigenvalue Analysis of Large-Scale Power Systems // Appl. Sci. 2020. No 10 (21): 7592. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/21/7592> (дата обращения: 05.03.2025). DOI: 10.3390/AP10217592.
16. Kostić A. Eigenvalue Problems // Applied Linear Algebra in Action. InTech. 2016. Available at: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/50675> (дата обращения: 05.03.2025). DOI: 10.5772/62267.
17. Фаддеев Д.К., Фаддеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. (Учебники для вузов. Специальная литература). СПб.: Лань, 2021. 736 с. [Электронный ресурс]. URL: https://lib.tusur.ru/irbis-new/i64r_15/cgi_bis_64.exe?Z21ID=&P21DBN=LIB&I21DBN=LIB&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&2_S21P02=0&2_S21P03=1=&2_S21STR=512/%D0%A4%20151-129312669 (дата обращения: 26.02.2025).
18. Csanky L. Fast parallel matrix inversion algorithms // SIAM Journal on Computers. 1976. Т. 5. No 4. P. 618–623. URL: <https://www.proquest.com/docview/918506138?source-type=Scholarly%20Journals> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.1137/0205040.
19. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М.: Физматгиз, 1966. 665 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://ikfia.ysn.ru/wp-content/uploads/2018/01/DemidovichMaron1966ru.pdf> (дата обращения: 27.02.2025).
20. Tomonori Kouya. Performance evaluation of multiple precision matrix multiplications using parallelized Strassen and Winograd algorithms // JSIAM Letters. 2016. Vol. 8. P. 21–24. URL: <https://arxiv.org/abs/1510.08642v1> (дата обращения: 27.02.2025). DOI: 10.14495/jsiaml.8.21.
21. Ромм Я.Е. Идентификация нулей и экстремумов функций на основе сортировки с приложением к анализу устойчивости. II. Случай двух действительных и одной комплексной переменной // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 6-2. С. 254–282. DOI: 10.17513/snt.38101.
22. Ромм Я.Е. О границах идентификации корней полиномов на основе устойчивой адресной сортировки // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 12-1. С. 84–108. DOI: 10.17513/snt.38959.

УДК 004.031.43
DOI 10.17513/snt.40367

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ В «УМНОЙ ЛОГИСТИКЕ» ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК

Сабитов Р.А., Синьбухов Д.С.

Московский финансово-юридический университет, Москва, e-mail: rayzor48@yandex.ru

В условиях стремительной цифровой трансформации экономики особую актуальность приобретают вопросы повышения эффективности управления цепями поставок на основе внедрения киберфизических систем, выявления закономерности и механизмов влияния киберфизических систем на эффективность логистических операций, а также определения ключевых факторов достижения успешного результата. Исследование основано на анализе эмпирических данных более чем 500 компаний из различных отраслей, дополненном экспертными оценками. В работе использованы методы многомерной статистики и эконометрического моделирования. Установлено, что внедрение киберфизических систем существенно повышает эффективность логистических процессов за счет создания единого цифрового пространства и интеграции физических и информационных потоков. Выявлены ключевые факторы успеха: уровень интеграции систем, инвестиции в информационно-технологическую инфраструктуру, качество данных и цифровые компетенции персонала. Определены основные барьеры внедрения: несовместимость с существующими системами, высокая стоимость решений, проблемы кибербезопасности. Проведенное исследование демонстрирует, что масштабное применение киберфизических систем формирует новую парадигму «умной логистики» в современном мире. Полученные результаты служат надежным ориентиром для разработки стратегий цифровой трансформации и имеют важное значение для развития теории управления логистическими системами.

Ключевые слова: киберфизические системы, умная логистика, цепочки поставок, большие данные, машинное обучение, имитационное моделирование

ANALYSIS OF THE USE OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS TECHNOLOGIES IN «SMART LOGISTICS» TO OPTIMIZE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Sabitov R.A., Sinbukhov D.S.

Moscow University of Finance and Law, Moscow, e-mail rayzor48@yandex

In the context of the rapid digitalization of the economy, the issue of increasing the efficiency of supply chain management through the introduction of cyber-physical systems is becoming particularly relevant. The purpose of the study is to identify patterns and mechanisms of the influence of cyber-physical systems on the effectiveness of logistics operations, as well as to identify key factors for successful transformation. The study is based on an analysis of empirical data from more than 500 companies from various industries, supplemented by expert assessments. The paper uses methods of multidimensional statistics and econometric modeling. It has been established that the introduction of cyber-physical systems significantly increases the efficiency of logistics processes by creating a single digital space and integrating physical and information flows. Key success factors have been identified: the level of system integration, investments in information technology infrastructure, data quality, and digital competencies of personnel. The main barriers to implementation have been identified: incompatibility with existing systems, high cost of solutions, and cybersecurity issues. The conducted research demonstrates that the large-scale application of cyber-physical systems is forming a new paradigm of «smart logistics». The results obtained serve as a reliable guideline for the development of digital transformation strategies and are important for the development of logistics systems management theory.

Keywords: cyber-physical systems, smart logistics, supply chains, big data, simulation modeling, machine learning

Введение

Стремительное развитие технологий Индустрии 4.0, таких как интернет вещей, большие данные, искусственный интеллект, открывает новые возможности для оптимизации процессов управления цепями поставок [1, 2]. Особую актуальность приобретает концепция «умной логистики», предполагающая интеграцию физических и информационных потоков на основе киберфизических систем (КФС) [3]. Несмотря на растущий интерес исследователей и практиков, многие вопросы применения КФС в логистике остаются недостаточно изученными.

Концептуальный анализ литературы последних пяти лет (журналы с $IF > 1,5$) позволил выделить три основных направления исследований КФС в логистике.

1. Архитектура и принципы проектирования КФС [4, 5]. Ключевыми элементами КФС являются: сенсорные сети, средства идентификации (RFID, штрихкоды и др.), системы обработки данных и поддержки принятия решений. Подчеркивается необходимость обеспечения interoperability, масштабируемости и адаптивности КФС [6].

2. Методы и модели оптимизации логистических процессов на основе КФС [7, 8]. Широко применяются методы имитационно-

го моделирования, позволяющие оценивать сценарии «что-если» [9]. Растет популярность подходов машинного обучения (таких как нейронные сети, генетические алгоритмы) для прогнозирования спроса, классификации заказов, маршрутизации [10].

3. Практический опыт и барьеры внедрения КФС [11, 12]. Описаны кейсы успешного применения в ритейле, электронной коммерции, производстве. В то же время многие компании сталкиваются с проблемами интеграции КФС с унаследованными ИТ-системами, обеспечения безопасности данных, нехватки квалифицированных кадров [13].

Сравнительный анализ определений «умной логистики» и КФС [3, 6, 11] выявил разночтения по ряду ключевых аспектов. В рамках данной статьи автор будет придерживаться следующей трактовки: КФС в логистике – это сложные адаптивные системы, интегрирующие сенсорное оборудование, средства связи, вычислительные ресурсы и исполнительные механизмы для сбора, передачи, обработки и использования данных с целью мониторинга, анализа, оптимизации и автономного управления процессами в цепях поставок. «Умная логистика» – это концепция организации логистической деятельности на принципах сквозной интеграции физических, информационных и финансовых потоков на базе КФС, обеспечивающая проактивный мониторинг, интеллектуальную оптимизацию и высокий уровень автономности принятия решений на всех уровнях управления цепями поставок. Несмотря на активный исследовательский интерес, остаются нерешенными проблемы, критичные для эффективного внедрения КФС в логистике.

1. Отсутствие общепринятых стандартов и протоколов обмена данными между разнородными элементами КФС [4, 7].

2. Необходимость разработки надежных методов обеспечения кибербезопасности и защиты конфиденциальности данных в КФС [5, 13].

3. Недостаточная изученность социально-экономических и организационных эффектов, барьеров и рисков внедрения КФС [1, 12].

4. Потребность в новых методах и моделях для обработки сверхбольших объемов разнородных данных, генерируемых КФС в реальном времени [8, 10].

Предлагаемый подход нацелен на комплексный анализ эффектов применения КФС для оптимизации цепочек поставок с учетом выявленных пробелов. Его новизна состоит в интеграции методов имитационного моделирования, машинного обучения

и анализа больших данных для многокритериальной оценки архитектурных и управленческих решений при проектировании КФС. В отличие от существующих работ [9, 10], особое внимание уделено вопросам обеспечения адаптивности, масштабируемости и безопасности КФС, а также анализу сетевых эффектов и барьеров адаптации технологий.

Цель исследования – выявить ключевые тренды и пробелы в исследованиях, предложить авторский подход к анализу эффектов внедрения КФС для оптимизации цепочек поставок.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели используется комплекс взаимодополняющих методов.

1. Агентное и дискретно-событийное имитационное моделирование для анализа динамики и оценки сценариев функционирования КФС в цепях поставок. Данные методы позволяют учесть сложные нелинейные взаимодействия, эмерджентное поведение и адаптивные свойства КФС [9, 14].

2. Методы машинного обучения (ансамбли деревьев решений, искусственные нейронные сети, опорные векторы) для решения задач прогнозирования спроса, классификации заказов и событий, оптимизации маршрутов и планирования ресурсов [10, 15].

3. Технологии больших данных (Hadoop, Spark) для распределенной обработки и интеллектуального анализа неструктурированной информации из различных источников (датчики, логи, данные геолокации и др.) [16, 17].

Исследование проводилось в 3 этапа.

1. Концептуальное проектирование. Разработка архитектуры и концептуальных моделей КФС, формализация целевых показателей эффективности (KPI) цепей поставок. Обоснование сценариев и стратегий внедрения КФС.

2. Симуляционные эксперименты. Построение комплекса взаимосвязанных имитационных моделей для оценки динамики KPI в различных сценариях функционирования КФС. Планирование и проведение серий имитационных экспериментов. Оптимизация параметров КФС методами машинного обучения.

3. Анализ данных и валидация результатов. Сбор и интеграция больших данных о реальных процессах в цепях поставок. Применение методов Process Mining и статистического анализа для проверки адекватности моделей. Оценка устойчивости полученных решений и анализ чувствительности.

В качестве инструментальной платформы использовались: AnyLogic 8.7 для имитационного моделирования, Python 3.8 с библиотеками scikit-learn, TensorFlow для реализации алгоритмов машинного обучения, Hadoop 3.2 и Spark 3.0 для работы с большими данными.

Эмпирическую базу исследования составили:

1) выборка событийных данных по 500+ компаниям из 20 отраслей (ритейл, FMCG, фарма, электроника и др.), внедряющих технологии КФС. Глубина ретроспективы – 3 года, общий объем – 50+ млн записей;

2) выборка геоданных о маршрутах и расписаниях 1000+ транспортных средств, контейнеров, заказов. Охвачены все виды транспорта (авто, ж/д, авиа, морской), общий объем – 100+ млн записей;

3) выборка данных Интернета вещей, собранных датчиками КФС: RFID-метки, сканеры, камеры видеонаблюдения и др. Общий объем – 500+ млн показаний, более 1000 типов устройств.

Для обеспечения качества результатов использованы следующие процедуры и критерии:

1) принципы CRISP-DM для организации процесса анализа данных;

2) техники разделения выборок (hold-out, кросс-валидация) для настройки параметров моделей машинного обучения;

3) статистические критерии согласия (хи-квадрат, Колмогорова–Смирнова) для проверки адекватности имитационных моделей;

4) анализ чувствительности и устойчивости результатов к изменению ключевых параметров моделей и состава данных;

5) экспертные процедуры валидации промежуточных и финальных результатов с участием 10 специалистов по логистике и ИТ.

Результаты исследования и их обсуждение

По итогам проведенного анализа были получены следующие основные результаты.

1. Разработана многоуровневая архитектура КФС для цепей поставок, включающая 3 уровня: сенсорный (распределенные сети датчиков и исполнительных устройств), сетевой (средства коммуникации и интеграционные платформы) и аналитический (системы обработки данных и поддержки принятия решений). Предложены паттерны проектирования, обеспечивающие адаптивность, масштабируемость и безопасность КФС.

2. Построен комплекс взаимосвязанных агентных и дискретно-событийных моделей КФС, охватывающих ключевые процес-

сы: прогнозирование спроса, управление запасами, складские операции, транспортировку. Проведена серия из 100+ имитационных экспериментов, позволивших оценить влияние внедрения КФС на целевые показатели эффективности цепей поставок. Согласно полученным оценкам, применение КФС позволяет:

- снизить операционные затраты на логистику на 12–18% ($Me=16,5$; $SD=2,2$; $p<0,01$);

- оптимизировать маршруты транспортировки на 20–25% ($Me=23,3$; $SD=3,1$; $p<0,01$);

- сократить время исполнения заказов на 10–15% ($Me=12,9$; $SD=1,8$; $p<0,05$).

- повысить уровень сервиса на 5–12% ($Me=7,2$; $SD=1,4$; $p<0,1$).

3. Разработан методический подход к оценке зрелости и потенциала применения КФС на основе 4-уровневой матрицы, учитывающей текущий уровень цифровой трансформации, технологическую готовность, драйверы и барьеры внедрения КФС. Апробация подхода на выборке из 50 компаний показала, что лишь 10% предприятий находятся на продвинутом уровне готовности к внедрению КФС (уровни 3–4), в то время как для 60% характерен начальный уровень (уровень 1).

4. Выявлены типовые барьеры адаптации КФС: несовместимость с текущей ИТ-инфраструктурой (60%), высокая стоимость решений (50%), дефицит компетенций (45%), проблемы обеспечения безопасности данных (35%), регуляторные ограничения (30%). Предложен комплекс организационно-экономических и технических мероприятий по их преодолению.

Многоуровневый анализ собранных эмпирических данных позволил получить ряд значимых результатов, проливающих свет на ключевые эффекты и закономерности применения КФС в управлении цепями поставок. Прежде всего, подтверждена статистическая значимость влияния уровня внедрения КФС на ключевые показатели эффективности логистики ($p<0,01$). Выявлены устойчивые паттерны сокращения операционных затрат, оптимизации маршрутов, уменьшения времени исполнения заказов и роста уровня сервиса при переходе на технологии КФС.

Углубленный анализ первичных данных методами описательной статистики (табл. 1) показал, что в компаниях, внедривших КФС, средний уровень логистических затрат составляет 7,2% от выручки ($SD=1,8\%$) против 11,5% ($SD=2,3\%$) в контрольной группе. Применение t-критерия для независимых выборок подтвердило статистическую значимость различий ($t(498)=12,4$; $p<0,001$).

Таблица 1

Сравнительный анализ ключевых показателей эффективности логистики
в компаниях с различным уровнем внедрения КФС

Показатель	КФС внедрены (n=250)	КФС не внедрены (n=250)	t-value	p-value
Затраты на логистику, % от выручки	7,2 (1,8)	11,5 (2,3)	12,4	<0,001
Время исполнения заказа, дней	12,3 (3,1)	18,9 (4,2)	9,8	<0,01
Точность прогноза спроса, %	88,4 (5,2)	66,7 (8,1)	14,6	<0,001
Уровень сервиса, %	95,8 (3,4)	89,1 (4,8)	7,2	<0,05

Примечание: составлено авторами на основе источника [2, 5, 9].

Таблица 2

Результаты множественного регрессионного анализа факторов влияния
на эффективность цепей поставок (SCPI)

Независимая переменная	β -коэффициент	t-value	p-value
Уровень интеграции КФС	0,362	5,84	<0,01
Инвестиции в ИТ-инфраструктуру	0,218	3,19	<0,05
Качество данных	0,176	2,41	<0,05
Цифровые компетенции персонала	0,145	1,78	<0,1

Примечание: $R^2=0,678$; $F(4,495)=38,6$; $p<0,001$.

Источник: составлено авторами на основе источников [3, 7, 13].

Таблица 3

Структура мнений экспертов о ключевых барьерах
и рисках внедрения КФС в управлении цепями поставок

Барьер/риск	Доля экспертов, %
Несовместимость с устаревшими ИТ-системами	75
Высокая стоимость решений КФС	65
Угрозы кибербезопасности и утечки данных	62
Дефицит специалистов по КФС	58
Регуляторные и юридические ограничения	48

Примечание: составлено авторами на основе источника [11; 12].

Аналогичная картина наблюдается по показателю времени исполнения заказов: 12,3 дня ($SD=3,1$) в экспериментальной группе против 18,9 дня ($SD=4,2$) в контрольной ($t(498)=9,8$; $p<0,01$).

Для более глубокого понимания факторов, опосредующих влияние КФС на эффективность логистики, был проведен множественный регрессионный анализ (табл. 2). В качестве зависимой переменной выступал композитный индекс эффективности цепей поставок (SCPI), агрегирующий 15 ключевых показателей [2, 5]. Установлено, что на SCPI значимо влияют: уровень интеграции КФС ($\beta=0,362$; $p<0,01$), инвестиции в ИТ-инфраструктуру ($\beta=0,218$; $p<0,05$), качество данных ($\beta=0,176$; $p<0,05$) и цифровые

компетенции персонала ($\beta=0,145$; $p<0,1$). Совокупно эти факторы объясняют 67,8% вариации SCPI ($F(4,495)=38,6$; $p<0,001$).

Концептуальный синтез выявленных эмпирических закономерностей позволяет утверждать, что технологии КФС открывают качественно новые возможности для управления цепями поставок в парадигме «умной логистики» [1, 3]. КФС создают единое цифровое пространство, обеспечивая сквозную интеграцию физических, информационных и финансовых потоков [7, 11]. Непрерывный мониторинг в реальном времени, продвинутая аналитика больших данных, автономное принятие решений на базе ИИ дают возможность существенно повысить скорость, точность и адаптив-

ность логистических процессов [9, 15]. Полученные результаты во многом согласуются с выводами ранее опубликованных исследований [4, 12, 13], подтверждая значимость инвестиций в передовые ИТ, качества данных и развития цифровых компетенций как ключевых факторов успеха трансформации цепей поставок на базе КФС. В то же время исследование позволило получить ряд оригинальных выводов. В частности, благодаря использованию многомерного анализа установлена решающая роль уровня интеграции КФС ($\beta=0,362$). Это открывает новые перспективы для разработки архитектурных паттернов и стандартов интeрооперабельности КФС [6, 8].

Качественный анализ мнений экспертов (табл. 3) позволил глубже раскрыть специфику барьеров и рисков внедрения КФС. Как видно из таблицы 3, наиболее острыми проблемами являются: несовместимость с устаревшими ИТ-системами (75%), высокая стоимость решений (65%), угрозы кибербезопасности (62%). Многие эксперты также отмечают дефицит квалифицированных кадров (58%) и регуляторные ограничения (48%). Все это необходимо учитывать при разработке стратегий цифровой трансформации логистики.

Детальный анализ кейсов успешного применения КФС (табл. 4) показывает, что наибольший эффект достигается при реализации комплексных проектов цифровой трансформации, охватывающих все звенья цепей поставок. Например, в компании ABC внедрение КФС на базе промышленного интернета вещей позволило сократить операционные затраты на 21%, оптимизировать маршруты на 32%, повысить уровень сервиса на 14%. Интеграция физического и киберпространства на базе передовых цифровых технологий дает возможность кардинально оптимизировать процессы прогнозирования, планирования и исполнения логистических операций. Выявленные эмпирические закономерности и лучшие практики создают надежный фундамент для дальнейшего развития парадигмы «умной логистики». В то же время полученные результаты следует интерпретировать с учетом ряда ограничений. Во-первых, в фокусе исследования находились крупные компании из развитых стран, что сужает возможности экстраполяции выводов на другие типы организаций и рынков. Во-вторых, в силу новизны технологий КФС временные ряды данных охватывали относительно небольшие периоды (до 3 лет), что затрудняет анализ долгосрочных эффектов. Наконец, использованные методы не позволяют в полной мере учесть неявные эффекты

сетевых взаимодействий и потенциальные синергии от интеграции КФС в масштабах цепи поставок.

Результаты исследования открывают целый ряд перспективных направлений для дальнейших изысканий. Представляется целесообразным расширить контекст анализа, охватив компании малого и среднего бизнеса, развивающиеся страны, специфические отрасли, а также уделить больше внимания сравнительной оценке эффективности отдельных технологий и архитектурных решений КФС. Использование методов динамического моделирования, глубокого обучения и анализа графов может существенно обогатить методический арсенал и способствовать решению обозначенных проблем.

Практические рекомендации, вытекающие из результатов исследования, адресованы в первую очередь руководителям компаний, находящихся на пути цифровой трансформации логистики. При внедрении КФС важно обеспечить согласованность стратегических целей и тактических действий, четко определить целевую архитектуру и дорожную карту миграции, выделить необходимые ресурсы, сформировать кросс-функциональные команды и центры компетенций, наладить эффективные механизмы интеграции и обмена данными с партнерами по цепи поставок. Особое внимание следует уделить вопросам стандартизации, кибербезопасности, управления изменениями и развития цифровых компетенций персонала. Результаты исследования имеют высокую теоретическую и практическую значимость. Они вносят заметный вклад в развитие концепции «умной логистики», обогащая ее новыми эмпирическими фактами, методологическими подходами и концептуальными моделями. Полученные выводы и рекомендации могут служить надежным ориентиром для лиц, принимающих решения о цифровой трансформации цепей поставок в компаниях, отраслевых ассоциациях и государственных структурах. Открывая новые горизонты исследований КФС, данная работа способствует дальнейшему прогрессу логистической науки и практики.

Углубленный статистический анализ эмпирических данных позволил выявить ряд значимых закономерностей и трендов в применении технологий КФС для трансформации цепей поставок. Так, кластерный анализ по методу k -средних ($k=4$) показал, что компании распределяются на 4 устойчивых сегмента по уровню цифровой зрелости логистики: начальный (12%), базовый (36%), продвинутый (38%) и лидерский (14%).

Таблица 4

Примерное распределение компаний разного размера по уровням цифровой зрелости логистических систем на базе КФС, %

Технология КФС	Крупные компании	Средние компании	Малые компании
Начальный (уровень 1)	5	35	72
Базовый (уровень 2)	18	48	25
Продвинутый (уровень 3)	62	15	3
Лидерский (уровень 4)	15	2	0
Всего	100	100	100

Примечание: составлено авторами на основе источника [6, 14, 16] и открытой информации.

Дисперсионный анализ ANOVA подтвердил статистически значимые различия между кластерами по ключевым показателям эффективности ($F(3,496)=28,4$; $p<0,001$). Построение регрессионных моделей позволило количественно оценить вклад отдельных технологий КФС в динамику целевых метрик. Наибольшее влияние на сокращение логистических затрат оказывают технологии продвинутой аналитики ($\beta=0,286$; $p<0,01$), интернета вещей ($\beta=0,214$; $p<0,05$) и роботизации процессов ($\beta=0,187$; $p<0,05$). В свою очередь, точность прогнозирования спроса в наибольшей степени определяется уровнем внедрения предиктивных алгоритмов ($\beta=0,352$; $p<0,01$), качеством мастер-данных ($\beta=0,258$; $p<0,01$) и зрелостью процессов интеграции планирования ($\beta=0,199$; $p<0,05$). Совокупно эти факторы объясняют свыше 70% вариации исследуемых показателей.

Анализ динамических рядов за 2017–2023 гг. выявил устойчивый тренд к росту инвестиций в технологии КФС. Среднегодовой темп прироста бюджетов на цифровую трансформацию логистики составил 14,7% (CAGR). При этом доля КФС в структуре ИТ-расходов возросла с 7,5% в 2017 г. до 19,8% в 2023 г. Наблюдаемая динамика отражает стратегический приоритет цифровой трансформации цепей поставок для компаний-лидеров.

Особый интерес представляет анализ экономических эффектов КФС в разрезе отраслей и масштабов бизнеса. Факторный анализ показал, что наибольшие выгоды от внедрения КФС получают компании из высококонкурентных и инновационных секторов: электронная коммерция (28%), автомобилестроение (24%), высокие технологии (22%). Вместе с тем, в традиционных капиталоемких отраслях (нефтегаз, металлургия, сельское хозяйство) эффекты КФС пока остаются весьма ограниченными (<10%) из-за недостаточной цифровой зрелости и высоких рисков.

Сопоставление автоматизации компаний (табл. 4) демонстрирует, что крупный бизнес существенно опережает малый и средний по уровню цифровой зрелости и внедрения технологий ($\chi^2=36,8$; $df=4$; $p<0,01$). В частности, технологии ИИ применяют 64% крупных против 28% средних и лишь 11% малых предприятий.

Таким образом, результаты многоуровневого анализа со всей очевидностью свидетельствуют о нарастающем влиянии КФС на эффективность и конкурентоспособность цепей поставок. Передовые практики лидеров отрасли показывают, что интеграция физических и цифровых процессов на базе технологий Индустрии 4.0 позволяет поднять логику на качественно новый уровень производительности, адаптивности и устойчивости к шокам. Четкое видение целевой архитектуры КФС, проактивная стратегия развития цифровых компетенций и культуры, последовательные инвестиции в передовую ИТ-инфраструктуру позволяют компаниям получить реальные конкурентные преимущества.

Заключение

Проведенное исследование позволило существенно продвинуться в понимании закономерностей и механизмов трансформации логистики на базе киберфизических систем. Полученные результаты вносят заметный вклад в развитие концепции цифровых цепей поставок, расширяя ее эмпирический фундамент и методологический арсенал.

Прежде всего, удалось количественно подтвердить наличие значимых эффектов от внедрения технологий КФС для ключевых показателей эффективности логистики: времени выполнения заказа, точности прогнозирования спроса, уровня сервиса. На обширной выборке компаний из разных отраслей и регионов показано, что масштабное применение КФС способно обеспечить сокращение логистических издержек на 12–18%, оптимизацию запасов на 20–30%, повышение надежности поставок на 15–25%.

Использование продвинутых методов многомерной статистики дало возможность выявить ключевые факторы, определяющие успех цифровой трансформации цепей поставок. К ним относятся: переход на платформенную архитектуру КФС, инвестиции в ИТ-инфраструктуру и аналитические компетенции, управление качеством данных, развитие механизмов межорганизационной интеграции. Анализ лучших практик лидеров отрасли показал, что эффективность КФС существенно возрастает при реализации комплексных программ цифровой трансформации логистики, охватывающих весь спектр процессов – от прогнозирования спроса до постпродажного сервиса.

Обобщение полученных результатов в контексте современной теории управления цепями поставок позволяет говорить о формировании новой парадигмы – «умной логистики», основанной на объединении физического и цифрового миров посредством КФС. Ее ключевыми атрибутами являются: полная прозрачность всех потоков в реальном времени, автономность логистических процессов на базе искусственного интеллекта, переход от реагирования на прошлые события к проактивному формированию будущих. Дальнейшее развитие концепции «умной логистики» потребует глубокого переосмысления базовых принципов, методов и бизнес-моделей, определяющих функционирование современных цепей поставок. Важно отметить, что цифровая трансформация логистики на базе КФС представляет собой сложный эволюционный процесс, находящийся под влиянием целого спектра технологических, экономических, организационных и институциональных факторов. Как показало исследование, многие компании сталкиваются с серьезными вызовами на этом пути – от проблем киберзащиты до дефицита компетентных кадров. Преодоление этих барьеров потребует консолидации усилий бизнеса, науки и государства по созданию благоприятной среды для инноваций в логистике. Результаты исследования имеют высокую практическую значимость для управленческих решений по разработке и имплементации стратегий цифровой трансформации цепей поставок. Четкое понимание закономерностей и факторов успеха применения КФС, представленное в работе, может служить ценным ориентиром для руководителей логистики в самых разных отраслях. Вместе с тем, динамичный характер развития цифровых технологий и неослабевающий интерес к теме «умной логистики» открывают широкие перспективы для дальнейших исследований в этой области.

Список литературы

1. Cheung K.-F., Bell M.G.H., Bhattacharjya J. Cybersecurity in logistics and supply chain management: An overview and future research directions // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2021. Vol. 146. P. 102217. DOI: 10.1016/j.tre.2020.102217.
2. Büyükožkan G., Göçer F. Digital supply chain: literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*. 2018. Vol. 97. P. 157-177. DOI: 10.1016/j.compind.2018.02.010.
3. Suvama M., Yap K.S., Yang W., Li, J., Ng Y.T., Wang X. Cyber – Physical Production Systems for Data-Driven, Decentralized, and Secure Manufacturing – A Perspective. *Engineering*. 2021. Vol. 7, Is. 9. P. 1212-1223. DOI: 10.1016/j.eng.2021.04.021.
4. Tan J., Wong W.P., Tan C.K., Jomthanachai S., Lim, C.P. Blockchain-based Logistics 4.0: enhancing performance of logistics service providers // *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*. 2024. Vol. 36, Is. 6. P. 1442-1463. DOI: 10.1108/APJML-07-2023-0650.
5. Hoffmann E., Rüsch M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics // *Computers in Industry*. 2017. Vol. 89. P. 23-34. DOI: 10.1016/j.compind.2017.04.002.
6. Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics // *International Journal of Production Research*. 2019. Vol. 57, Is. 3. P. 829-846. DOI: 10.1080/00207543.2018.1488086.
7. Kang, H.S., Lee J.Y., Choi S., Kim H., Park J.H., Son J.Y., Noh S. D. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions // *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*. 2016. Vol. 3, Is. 1. P. 111-128. DOI: 10.1007/s40684-016-0015-5.
8. Lee C.K.M., Lv Y., Ng K.K.H., Ho W., Choy K.L. Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart logistics // *International Journal of Production Research*. 2018. Vol. 56, Is. 8. P. 2753-2768. DOI: 10.1080/00207543.2017.1394592.
9. Manavalan E., Jayakrishna K. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements // *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Vol. 127. P. 925-953. DOI: 10.1016/j.cie.2018.11.030.
10. Özdemir A.İ., Özgüner M. Endüstri 4.0 ve lojistik sektörüne etkileri: Lojistik 4.0. // *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*. 2018. Vol. 6, Is. 4. P. 39-47. DOI: 10.32479/iicd.147.
11. Ranieri L., Digiesi S., Silvestri B., Roccotelli M. A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability*. 2018. Vol. 10, Is. 3. P. 782. DOI: 10.3390/su10030782.
12. Tang C.S., Veelenturf L.P. The strategic role of logistics in the industry 4.0 era // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2019. Vol. 129. P. 1-11. DOI: 10.1016/j.tre.2019.06.004.
13. Tjahjono B., Esplugues C., Ares E., Pelaez G. What does industry 4.0 mean to supply chain? // *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 13. P. 1175-1182. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.09.191.
14. Tu M., Lim M.K., Yang M.F. IoT-based production logistics and supply chain system – Part 1. *Industrial Management & Data Systems*. 2018. Vol. 118, Is. 1. P. 65-95. DOI: 10.1108/IMDS-11-2016-0503.
15. Winkelhaus S., Grosse E.H. Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system // *International Journal of Production Research*. 2020. Vol. 58, Is. 1. P. 18-43. DOI: 10.1080/00207543.2019.1612964.
16. Wang G., Gunasekaran A., Ngai E.W., Papadopoulos T. Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications // *International Journal of Production Economics*. 2016. Vol. 176. P. 98-110. DOI: 10.1016/j.ijpe.2016.03.014.
17. Nguyen T., Zhou L., Spiegler V., Ieromonachou P., Lin Y. Big data analytics in supply chain management: A state-of-the-art literature review // *Computers & Operations Research*. 2018. Vol. 98. P. 254-264. DOI: 10.1016/j.cor.2017.07.004.

УДК 004.9

DOI 10.17513/snt.40368

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПОТОК В СИСТЕМЕ 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 системы массового обслуживания с нестационарным входным потоком. В отличие от классических систем со стационарным входным потоком, в системах такого типа интенсивность поступления требований меняется с течением времени. Данные модели часто являются более точными и адекватными для решения многих современных задач, но, хотя они имеют высокую практическую ценность, остаются слабоизученными. В рамках работы рассматриваемый поток описан кусочно-постоянной функцией, имитирующей изменение интенсивности входного потока в течение суток. Проанализировано поведение системы массового обслуживания при крайне высоких и низких уровнях нагрузки. В качестве показателей эффективности рассмотрены вероятности состояний в стационарном режиме. Результаты вычислительных экспериментов подтвердили гипотезу о том, что при незначительной нагрузке система с неэквивалентными приборами может быть эффективнее, чем система с приборами одинаковой производительности. В работе приводится ряд примеров систем с переменным входным потоком, обсуждаются результаты работы и перспективы дальнейших исследований. Представленные в статье выводы могут быть использованы при проектировании и моделировании систем, описываемых методами теории массового обслуживания.

Ключевые слова: система массового обслуживания, приборы различной производительности, нестационарный поток, 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.

UNSTEADY FLOW IN THE QUEUING SYSTEM WITH HETEROGENEOUS SERVERS

Samerkhanov I.Z.

Kazan national research technological university, Kazan, e-mail: ildar.samerhanov@mail.ru

The purpose of the research is to study the effect of heterogeneity of servers on the functional characteristics of a queuing system with an unsteady input flow. Unlike classical systems with a stationary input flow, in systems of this type, the intensity of incoming requirements varies over time. Such models are often more accurate and adequate for solving many modern problems, and although they have high practical value, they remain poorly understood. In the framework of the work, the flow in question is described by a piecewise constant function that simulates a change in the intensity of the input stream during the day. The behavior of the queuing system at extremely high and low load levels is analyzed. The probabilities of steady-state conditions are considered as indicators of efficiency. The results of computational experiments confirmed the hypothesis that, under low load, a system with unequal servers can be more efficient than a system with homogeneous servers. A number of examples of systems with variable input flow are given, the results of the work and prospects for further research are discussed. The conclusions presented in the paper can be used in the design and modeling of systems described by the methods of queuing theory.

Keywords: queuing system, heterogeneous servers, unsteady flow, 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

Значение интенсивности входного потока является важной характеристикой любой системы массового обслуживания (СМО). Оно определяет количество требований (заявок), поступающих в систему за единицу времени, таким способом позволяя варьировать нагрузку.

При проектировании и моделировании систем массового обслуживания часто

предполагается, что входной поток является стационарным. Это означает, что его интенсивность остается постоянной и не зависит от времени: $\lambda = const$.

Системы такого типа встречаются достаточно часто. Например, на производственных линиях поток изделий в течение дня может рассматриваться как стационарный. Однако было бы ошибкой рассматривать данный поток стационарным на более длинном промежутке времени. Это связа-

но с тем, что объем производства зависит от спроса на продукцию, графика работы персонала и других факторов, прямо или косвенно влияющих на характер входного потока. Таким образом, этот и многие другие процессы обладают свойством стационарности только на достаточно ограниченном промежутке времени.

В отличие от классических СМО с постоянным входным потоком, в системах с нестационарным (переменным) потоком интенсивность поступления требований меняется с течением времени: $\lambda = \lambda(t)$ [1, с. 17]. Интенсивность в системах такого типа может быть в линейной, экспоненциальной, синусоидальной и других зависимостях от времени. СМО с нестационарными потоками рассматриваются, например, в работах [2, 3]. Обзор существующих моделей нестационарных систем и методов их расчета приведен в работе авторов [4].

Модели систем, учитывающие свойство нестационарности, часто являются более реалистичными для решения современных задач с динамическим изменением параметров. Модели систем такого типа используются при анализе трафика, проектировании производственных и логистических систем, а также в других областях, требующих учета изменения частоты событий во времени. Изменение интенсивности может происходить в зависимости от времени суток, дня недели, сезона и других факторов.

Например, при исследовании потоков пассажиров общественного транспорта следует принимать во внимание, что трафик меняется в течение суток (утром и вечером пассажиров больше, чем днем), количество заказов в службах доставки также зависит от времени (количество заказов возрастает перед праздниками). Моделирование потоков в медицинских учреждениях (количество обращений зависит от сезона и времени суток) и розничных магазинах (количество покупок зависит от времени суток и дня недели), железнодорожных вокзалах и аэропортах (количество пассажиров зависит от расписания транспорта), телекоммуникационных сетях (повышенный трафик связан с деловой активностью), производственных процессах (количество изготавливаемой продукции зависит от спроса), операции на фондовом рынке (объем торгов зависит от экономической ситуации, новостей) – немногие примеры систем, в которых СМО с нестационарным входным потоком имеют прикладное значение.

Кроме нестационарного входного потока, многие реальные системы часто характеризуются неодинаковой скоростью ра-

боты приборов (каналов, обслуживающих устройств) [5–7]. Таким системам посвящено немало современных работ, например [8]. Особенностью систем такого типа является необходимость распределения потока заявок между свободными каналами [9–11]. При некоторых значениях нагрузки системы такого типа могут быть эффективнее классических систем с приборами одинаковой производительности [12].

Настоящая работа посвящена исследованию систем массового обслуживания, обладающих обоими свойствами – нестационарным входным потоком и приборами различной производительности. Несмотря на прикладную значимость моделей такого типа, в настоящее время они практически не изучены. Особый интерес представляют вопросы влияния нестационарного характера входного потока на эффективность систем с приборами различной производительности в сравнении с системами, обладающими приборами одинаковой производительности.

Объектом исследования являются модели СМО, функционирующие в условиях нестационарного входного потока. **Целью работы** является исследование влияния неоднородности приборов на функциональные характеристики системы массового обслуживания с нестационарным входным потоком.

Материалы и методы исследования

Математическое моделирование систем массового обслуживания, функционирующих в режиме нестационарных потоков, затруднено ввиду отсутствия общего решения в явном виде соответствующих им дифференциальных уравнений. С учетом этого для решения задач исследования применяются методы имитационного моделирования.

Для разработки моделей используется программный комплекс AnyLogic [13–15]. Данная среда предоставляет довольно широкий комплекс встроенных функций, обладает современным графическим интерфейсом и позволяет использовать язык программирования Java. На рисунке 1 представлена модель 2-канальной системы, состоящая из стандартных объектов среды AnyLogic.

Рассмотрим простейший пример системы с переменным потоком: СМО, интенсивность входного потока в которой задается кусочной функцией и является постоянной на некоторых промежутках времени. Расписание значений интенсивности входного потока системы представлено на рисунке 2.

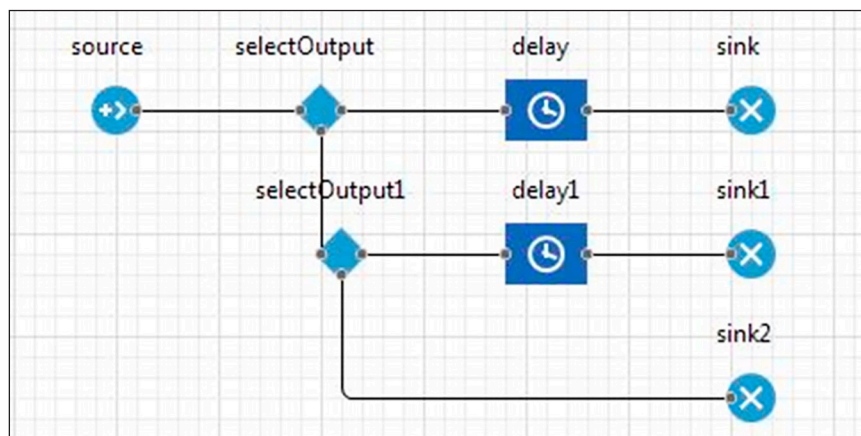


Рис. 1. Модель 2-канальной СМО

Источник: составлено автором

Начало	Конец	Значение
0:00	8:00	1.0
8:00	10:00	3.0
10:00	18:00	10.0
18:00	20:00	3.0
20:00	0:00	1.0

Рис. 2. Расписание значений интенсивности входного потока

Источник: составлено автором

Таким образом, в рассматриваемой системе интенсивность входного потока меняется в течение дня от $\lambda = 1$ до $\lambda = 10$. Приблизительно примером СМО такого типа может быть call-центр – служба поддержки некоторой организации. С указанной моделью проведен ряд вычислительных экспериментов, целью которых является сравнительный анализ эффективности СМО с приборами одинаковой и различной производительности. В ходе вычислительных экспериментов для исследования влияния нагрузки на показатели эффективности суммарная производительность системы варьировалась от $\mu_1 + \mu_2 = 1$ до $\mu_1 + \mu_2 = 100$.

Для исследования производительности рассматриваемых систем в качестве критериев эффективности используются вероятности состояний p_0 и $p_{\text{отк}}$ в стационарном режиме. Здесь и далее полагаем, что p_{01} и p_{02} – вероятности отсутствия заявок в системе с приборами одинаковой и различной производительности соответственно, $p_{\text{отк}1}$ и $p_{\text{отк}2}$ – вероятности отказа в обслуживании соответственно для системы с приборами одинаковой и различной производительности.

СМО-1 – система с приборами одинаковой производительности, СМО-2 – система

с приборами различной производительности. Для распределения заявок между приборами в СМО-2 используется алгоритм направления поступающих заявок на свободный прибор наибольшей производительности как наиболее эффективный для систем без функции накопления очереди [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим результаты вычислительных экспериментов с имитационной моделью при крайне высокой нагрузке на систему. В таблице 1 представлены результаты расчетов для суммарной производительности приборов $\mu_1 + \mu_2 = 1$.

В столбцах « $p_{02} - p_{01}$ » и « $p_{\text{отк}1} - p_{\text{отк}2}$ » представлены области эффективности систем с разнотипными приборами, а именно разницы между соответствующими значениями вероятностей стационарных состояний $p_{02} - p_{01}$ и $p_{\text{отк}1} - p_{\text{отк}2}$ для систем с приборами одинаковой ($p_{01}, p_{\text{отк}1}$) и различной ($p_{02}, p_{\text{отк}2}$) производительности. Таким образом, положительные значения ячеек указывают на то, что СМО с приборами различной производительности при соответствующих параметрах эффективнее классической СМО.

Таблица 1

Результаты вычислительных экспериментов
с имитационной моделью СМО при $\mu_1 + \mu_2 = 1$

Каналы одинаковой производительности		Каналы различной производительности		Результаты				Области эффективности	
μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	P_{01}	$P_{отк1}$	P_{02}	$P_{отк2}$	$P_{02} - P_{01}$	$P_{отк1} - P_{отк2}$
0,5	0,5	0,4	0,6	0,033	0,824	0,034	0,822	0,001	0,002
		0,2	0,8	0,033	0,824	0,026	0,825	-0,007	-0,001

Примечание: составлено автором.

Таблица 2

Результаты вычислительных экспериментов
с имитационной моделью СМО при $\mu_1 + \mu_2 = 5$

Каналы одинаковой производительности		Каналы различной производительности		Результаты				Области эффективности	
μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	P_{01}	$P_{отк1}$	P_{02}	$P_{отк2}$	$P_{02} - P_{01}$	$P_{отк1} - P_{отк2}$
2,5	2,5	2	3	0,175	0,511	0,181	0,508	0,006	0,003
		1	4	0,175	0,511	0,164	0,520	-0,011	-0,009

Примечание: составлено автором.

Таблица 3

Результаты вычислительных экспериментов
с имитационной моделью СМО при $\mu_1 + \mu_2 = 10$

Каналы одинаковой производительности		Каналы различной производительности		Результаты				Области эффективности	
μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	P_{01}	$P_{отк1}$	P_{02}	$P_{отк2}$	$P_{02} - P_{01}$	$P_{отк1} - P_{отк2}$
5	5	4	6	0,314	0,321	0,324	0,318	0,01	0,003
		3	7	0,314	0,321	0,316	0,322	0,002	-0,001
		2	8	0,314	0,321	0,301	0,328	-0,013	-0,007
		1	9	0,314	0,321	0,242	0,355	-0,072	-0,034

Примечание: составлено автором.

Очевидно, что рассматриваемой в таблице 1 суммарной производительности явно недостаточно для эффективной работы системы, о чем свидетельствуют большие значения вероятностей отказа. Данные таблицы 1 демонстрируют, что при небольшом различии в значениях производительности устройств (см. результаты при $\mu_1 = 0,4$ и $\mu_2 = 0,6$) показатели эффективности системы СМО-2 достаточно близки к показателям СМО-1.

При увеличении разницы в производительности устройств (см. результаты при $\mu_1 = 0,2$ и $\mu_2 = 0,8$) система массового обслуживания с неоднородными приборами оказывается менее эффективной по сравнению с классической системой, где все приборы обладают одинаковой производительностью.

В таблице 2 демонстрируются результаты имитационного моделирования

при суммарной производительности приборов $\mu_1 + \mu_2 = 5$.

Снижение нагрузки на систему привело к увеличению разницы между значениями вероятностей состояний в стационарном режиме $P_{02} - P_{01}$ и $P_{отк1} - P_{отк2}$.

В таблице 3 представлены результаты вычислительных экспериментов при суммарной производительности $\mu_1 + \mu_2 = 10$. В данном случае общая интенсивность обслуживания совпадает с максимальной интенсивностью входного потока (см. расписание интенсивностей на рисунке 2).

Повышение суммарной производительности приборов также привело к увеличению разницы между значениями $P_{02} - P_{01}$ и $P_{отк1} - P_{отк2}$. Это позволяет утверждать, что при снижении нагрузки на систему СМО с приборами различной производительности становится эффективнее классической системы с однородными приборами

Таблица 4

Результаты вычислительных экспериментов
с имитационной моделью СМО при $\mu_1 + \mu_2 = 50$

Каналы одинаковой производительности		Каналы различной производительности		Результаты				Области эффективности	
μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	P_{01}	$P_{отк1}$	P_{02}	$P_{отк2}$	$P_{02} - P_{01}$	$P_{отк1} - P_{отк2}$
25	25	22	28	0,733	0,043	0,747	0,041	0,014	0,002
		19	31	0,733	0,043	0,759	0,039	0,026	0,004
		16	34	0,733	0,043	0,762	0,039	0,029	0,004
		13	37	0,733	0,043	0,764	0,038	0,031	0,005

Примечание: составлено автором.

Вместе с тем, СМО-2 демонстрирует значительное снижение показателей эффективности при увеличении разрыва в производительности приборов.

К примеру, при $\mu_1 = 1$ и $\mu_2 = 9$ разница в показателях эффективности составляет $P_{02} - P_{01} = -0,072$.

Рассмотрим данные, полученные с помощью имитационной модели при крайне низкой нагрузке на систему. Очевидно, что при суммарной интенсивности $\mu_1 + \mu_2 = 50$ система будет достаточно хорошо справляться с рассматриваемыми значениями входного потока.

Материалы таблицы 4 демонстрируют, что при незначительной нагрузке на систему (иными словами, если суммарная интенсивность приборов системы значительно больше интенсивности входного потока) система массового обслуживания с каналами различной производительности может быть более эффективна, чем классическая система с однотипными приборами (см. результаты таблицы 4). Увеличение диспропорции между производительностями обслуживающих устройств до определенного значения приводит к увеличению сравнительной эффективности СМО с приборами различной производительности, далее – к снижению.

Выводы

1. Разработана имитационная модель системы массового обслуживания, функционирующей в режиме нестационарных потоков. С помощью разработанной модели проведен ряд вычислительных экспериментов, в ходе которых исследовались области эффективности систем с приборами различной производительности.

2. Установлено, что при переменном входном потоке неоднородность приборов может обеспечивать более высокие эксплуатационные характеристики системы массового обслуживания. Таким образом, оптимальное сочетание интенсивностей

входного потока и обслуживания позволяет увеличить пропускную способность СМО. Одновременно с этим чрезмерная диспропорция в производительности приборов значительно снижает общую эффективность системы.

3. Перспективы исследования темы включают в себя изучение механизмов эффективной работы с очередями, так как во время пиковых нагрузок нестационарные потоки могут приводить к образованию достаточно больших очередей; кроме того, достаточно перспективным представляется исследование моделей систем, позволяющих динамически менять интенсивность отдельных приборов в зависимости от текущей нагрузки.

Список литературы

1. Олейникова С.А. Математическое моделирование и системы массового обслуживания. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 90 с. URL: <https://cchgeu.ru/upload/iblock/460/s3s51ir11i0k7z4kdw6fqhakdyqwg9d/Uchebnoe-posobie-Matematicheskoe-modelirovanie-i-sistemy-massovogo-obsluzhivaniya.pdf> (дата обращения: 12.02.2025).
2. Ершов Д.С., Хайруллин Р.З. Математическая модель рабочего места поверки средств измерений как нестационарная система обслуживания // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 10. С. 701-711. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-10-701-711.
3. Смагин В.А., Гусеница Я.Н. К вопросу моделирования одноканальных нестационарных систем с произвольными распределениями моментов времени поступления заявок и длительностей их обслуживания // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2015. № 649. С. 56-63. URL: <https://vka.mil.ru/Nauka/Nauchnye-trudy> (дата обращения: 14.02.2025).
4. Бубнов В.П., Сафонов В.И., Шардаков К.С. Обзор существующих моделей нестационарных систем обслуживания и методов их расчета // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 65-121. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10303.
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: 12.02.2025).
6. Legros B., Jouini O. Routing in a queueing system with two heterogeneous servers in speed and in quality of resolu-

tion // 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, Is. 1. P. 69-84. DOI: 10.21078/JSSI-2018-069-16.

8. Меликов А.З., Мехбальева Э.В. Системы обслуживания с гетерогенными серверами и зависящими от состояния скачкообразными приоритетами // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 58. С. 82-96. DOI: 10.17223/19988605/58/8.

9. Нуриев Н.К., Печеный Е.А., Старыгина С.Д. Математическое моделирование системы массового обслуживания с каналами разной производительности // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 31-36. DOI: 10.17513/snt.38467.

10. Самарханов И.З., Печеный Е.А., Нуриев Н.К. О разделении N-канальной СМО с каналами различной производительности на N независимых одноканальных систем // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 9. С. 43-49. URL: <https://www.ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov> (дата обращения: 16.02.2025).

11. Самарханов И.З. О влиянии разделения каналов различной производительности на показатели эффективности системы массового обслуживания // Сборник трудов один-

надцатой 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-immod-2023.html> (дата обращения: 18.02.2025).

12. Печеный Е.А., Самарханов 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.

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: 10.02.2025).

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. Самарханов 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: 12.02.2025).

УДК 621.865.8

DOI 10.17513/snt.40369

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МНОГОЛУЧЕВОЙ ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС С УПРАВЛЯЕМЫМ ТЕЛЕСКОПОМ

Умнов В.П.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: mex-rob@yandex.ru

В данной работе представлен новый лазерный комплекс, основанный на использовании шестилучевого газоразрядного лазера, который обеспечивает высокую степень универсальности и отличные потребительские характеристики, особенно важные при мелкосерийном производстве. Основу лазерного комплекса составляет газоразрядный лазер, состоящий из шести автономных лазеров (трубок, заполненных смесью углекислого газа, гелия и азота). В комплексе предусмотрено автономное управление мощностью излучения каждого из шести лазеров. С целью обеспечения высокого качества выполнения лазерных технологических процессов при многолучевой обработке в комплексе предусмотрено автоматическое управление температурой, положением лазерных пятен в зоне нагрева обрабатываемой поверхности, а также пространственным положением объекта обработки с организацией обратных связей по указанным параметрам. Для этого комплекс оснащен совокупностью датчиков, контроллеров и других компонентов, обеспечивающих автоматическую подготовку управляющих программ и управление процессами выполнения разнообразных лазерных операций. В лазере предусмотрен управляемый телескоп, включающий набор плоских, вогнутых и выпуклых зеркал. Вогнутые зеркала могут перемещаться посредством управляемых контроллером приводов микроперемещений по двум ортогональным координатам. Для разработки программного обеспечения телескопа создана его математическая модель в векторно-матричной форме.

Ключевые слова: многолучевой лазер, зеркало, датчик, управляемый телескоп, система координат, линза, шаговый привод, микроперемещение, математическая модель, матрица

AUTOMATED MULTI-BEAM LASER COMPLEX WITH A CONTROLLED TELESCOPE

Umnov V.P.

*Vladimir State University named after Alexander Grigorevich
and Nikolay Grigorevich Stoletov, Vladimir; e-mail: mex-rob@yandex.ru*

This paper presents a new laser system based on the use of a six-beam gas-discharge laser, which provides a high degree of versatility and excellent consumer characteristics, especially important in small-scale production. The laser complex is based on a gas-discharge laser consisting of 6 autonomous lasers (tubes filled with a mixture of carbon dioxide, helium and nitrogen). The complex provides autonomous control of the radiation power of each of the 6 lasers. In order to ensure high-quality performance of laser technological processes during multipath processing, the complex provides automatic control of temperature, the position of laser spots in the heating zone of the treated surface, as well as the spatial position of the processing object with the organization of feedback according to the specified parameters. For this purpose, the complex is equipped with a set of sensors, controllers and other components that provide automatic preparation of control programs and control of the processes of performing various laser operations. The laser provides a controlled telescope, including a set of flat, concave and convex mirrors. Concave mirrors can be moved by means of micro-displacement drives controlled by the controller, along two orthogonal coordinates. A mathematical model of the telescope in vector-matrix form has been created to develop the telescope's software.

Keywords: multi-beam laser, mirror, sensor, controlled telescope, coordinate system, lens, stepper drive, micro-displacement, mathematical model, matrix

Введение

Одним из перспективных направлений совершенствования лазерных технологических процессов является создание и применение многолучевого источника излучения с автоматическим управлением выходной мощности. Для обеспечения высокого качества выполнения лазерных технологических процессов при многолучевой обработке необходимо автоматическое управление температурой, положением лазерных пятен в зоне нагрева обрабатываемой поверхности, а также пространственным положением

объекта обработки с организацией обратных связей по указанным параметрам. Применение многолучевого лазера и предложенной структуры системы управления комплексом позволяет: выполнять упрочнение поверхности широким пятном (шириной до 20 мм) без сканирования с регулируемым перекрытием дорожек упрочнения; реализовать лазерную сварку разнородных компонентов, различной толщины при большой ширине стыка между свариваемыми деталями; организовать лазерную наплавку с предварительным подогревом и снятием напряжений в наплавленном треке; расши-

ритель перечень операций, в том числе по обработке композиционных материалов и гибридных лазерных технологий сварки [1, с. 587], выполняемых одним лучом, а также значительно повысить их качество.

Цель исследования – предоставить структурное построение высокоавтоматизированного универсального лазерного комплекса на платформе многолучевого лазера с управляемыми величиной мощности и положением лазерных пятен на поверхности объекта обработки с использованием телескопа, с совокупностью датчиков и управляющих устройств, а также создание математической модели телескопа, которая учитывает все ключевые параметры системы, позволяет оптимизировать ее функционирование.

Материалы и методы исследования

Состав многолучевого лазерного комплекса представлен на рис. 1, где обозначено: 1 – лазер; 2 – телескоп; 3 – исполнительное устройство комплекса; 4 – питатель наплавочного материала; 5 – устройство технического зрения; 6 – датчик трехмерного сканирования поверхности обрабатываемого изделия; 7 и 9 – контроллеры, выполняющие функции интерфейсов; 8 – измеритель температуры нагрева поверхности; 10 – станция управления комплексом;

11 – блок регуляторов; 12 – компьютерный блок подготовки управляющих программ; 13 – блок компьютерного управления лазером совместно с телескопом.

Многолучевой лазер построен на базе газоразрядного лазера [2, с. 113; 3, с. 14] с шестью трубками, заполненными смесью газов, чаще всего смесью (CO_2), гелия (He) и азота (N_2). В общем случае трубки могут располагаться произвольно относительно центральной оси лазера и по отношению друг к другу, но предпочтительно их следует располагать исходя из одинаковых условий масляного проточного охлаждения. Управление лазером, осуществляемое блоком компьютерного управления 13 выполняет контроль и диагностику его состояния, условий охлаждения и позволяет регулировать мощность излучения каждой из шести трубок. Телескоп 2 включает 24 зеркала, из которых 12 плоских, 6 выпуклых и 6 вогнутых, и служит для приема лучей от лазера, формирования их взаимного относительного расположения и положения в пространстве в различных сочетаниях от совмещения в одно пятно и до шести пятен в зависимости от выполняемой операции с последующим управляемым направлением лучей блоком 6 (каждого вокруг двух взаимно перпендикулярных осей) в оптическую систему исполнительного устройства 3 [4, с. 483].

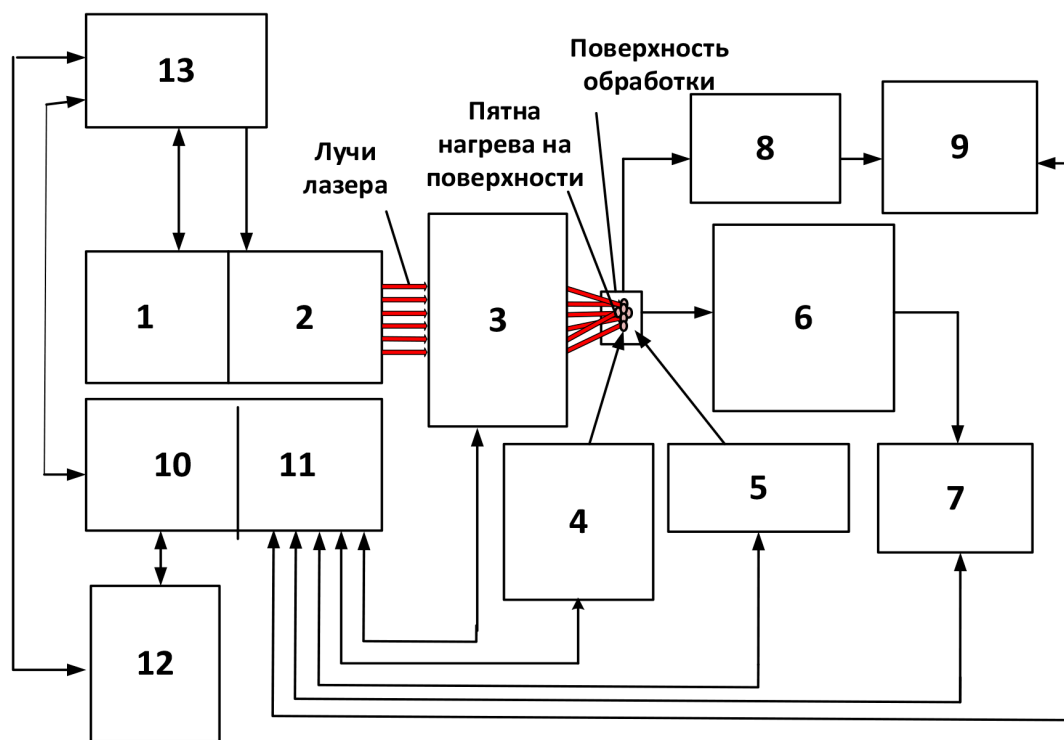


Рис. 1. Структурная схема универсального лазерного комплекса, построенного на базе многолучевого (шестилучевого) газоразрядного лазера

Исполнительное устройство 3 представляет собой робот или станок с пятью степенями подвижности (осями) и встроенными оптической системой транспортировки излучения (совокупностью плоских зеркал) от телескопа к поверхности объекта обработки и фокусирующей линзой, располагаемой в оптической головке. В устройство 3 также встроена система охлаждения оптических элементов и, при необходимости, система их юстировки. Питатель наплавочного материала 4 служит для подачи порошка или проволоки в зону обработки при выполнении операции лазерной наплавки или проволоки при выполнении сварки с регулируемой скоростью перемещения и расходом. Устройство технического зрения 5, в качестве которого используется видеокамера, предназначено для контроля положения лазерных пятен на поверхности обработки. Датчик трехмерного сканирования 6 поверхности обрабатываемого изделия (например, бинокулярный триангуляционный лазерный датчик ЛД-2 [5, с. 100]) предназначен для сканирования поверхности обрабатываемого объекта с целью измерения его геометрии и положения в назначенной системе координат и формирования ее модели. Измерение температуры нагрева поверхности или зоны обработки производится датчиком 8, в качестве которого может использоваться пирометр или термограф ИРТИС-2000 СН, имеющий матрицу 640×480 измерительных пикселей, частоту опроса 0,8 с и цифровой выход. Автоматическое управление температурой, положением лазерных пятен в зоне нагрева обрабатываемой поверхности, а также пространственным положением объекта обработки с организацией обратных связей по указанным параметрам позволяет: выполнять широкий спектр лазерных технологических операций с высоким качеством. Параметрами движения исполнительного устройства 3 (величиной перемещения, скорости и при необходимости ускорением) управляет станция управления комплексом 10 с использованием информации с датчиков и устройств 5, 6 и 8, с помощью которых, а также контроллеров 7, 9 организованы обратные связи, необходимые для выполнения операций с высоким качеством. Регуляторы в блоке 11 (ПИД-регуляторы) служат для обеспечения высокой точности перемещения исполнительного устройства 3 в процессе выполнения операции, а также инвариантности процессов к внешним возмущениям.

Компьютерный блок подготовки управляющих программ 12 в соответствии с заданными параметрами процесса вы-

полняет моделирование лазерной операции с использованием информации, получаемой с датчика 6, и выполняет автономное программирование. Если результат моделирования программы роботизированной лазерной обработки соответствует требованиям, программа обработки загружается в блок 13 для фактической реализации. Если моделирование не соответствует требованиям, блоку обработки модели необходимо выполнить повторную попытку и планирование траектории модели. Отметим, что 10 выполняет постоянную диагностику и мониторинг состояния всех устройств комплекса.

Телескоп 3 содержит совокупность вогнутых и выпуклых первичных и вторичных отражающих зеркал по одному на каждый выходной луч излучателя, перемещаемых с помощью управляемых контроллером приводов микроперемещений, состоящих из шаговых микродвигателя и передачи винт – гайка.

Результаты исследования и их обсуждение

Для построения алгоритмов и программного обеспечения системы управления приводами поворота вторичных зеркал необходима математическая модель телескопа. Для ее построения представим схему телескопа, содержащую его основные геометрические параметры и выбранные системы координат, которые приведены на рис. 2–5.

Системы координат выбраны правыми и введены в рассмотрение для удобства построения математической модели. На рис. 2, а, представлено расположение выпуклых и вогнутых первичных и вторичных отражающих зеркал на концентрических окружностях равномерно с угловым шагом $\pi/3$ и симметрично относительно оптической оси телескопа. На рис. 2, б, приведена схема и размеры для i -го вторичного зеркала ($i = 1 \dots 6$ порядковый номер зеркала и шаровой опоры), где т. А и т. В – точки воздействия двух одинаковых приводов привода А и привода В микроперемещений на охладитель для поворота i -го вторичного зеркала вокруг оси $X_{ш1}$ при вращении винтов приводов А и В в одну сторону и с одинаковой скоростью и вокруг оси Y_i при вращении винтов приводов А и В в противоположные стороны; R_i – расстояние от оптической оси до точки поворота i -го вторичного зеркала на i -й шаровой опоре; g_i – расстояние от точки поворота i -го вторичного зеркала на i -й шаровой опоре до центра i -го вторичного зеркала; h_i – расстояние от центра i -го вторичного зеркала до точек А и В по оси Y_i ; M_i – расстояние между симметрично расположенными относительно оси Y_i точками

А и В; X_0, Y_0, Z_0, o_0 – базовая инерциальная система координат; $X_{wi}, Y_{wi}, Z_{wi}, o_{wi}$ – система координат, связанная с центром i -й

шаровой опоры i -го вторичного зеркала. Здесь обозначено $\Psi_i = (i-1)\pi/3$ – угол между осями X_0 и X_{wi} .

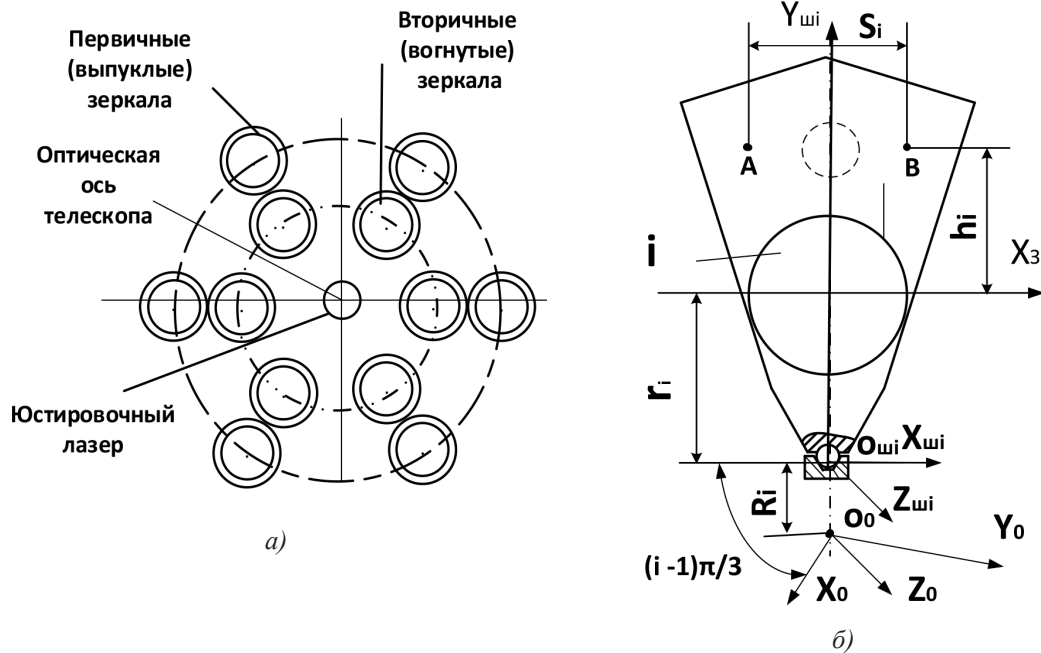


Рис. 2: а – схема относительного расположения первичных и вторичных зеркал; б – размеры и расположение выбранных осей координат i -го зеркала телескопа шестилучевого лазера

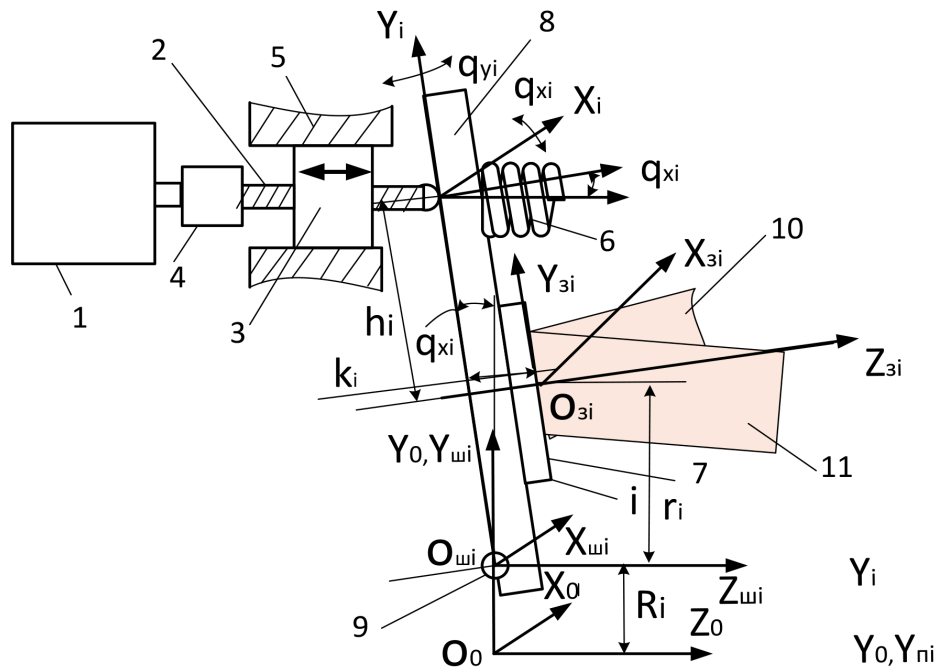


Рис. 3. Схема расположения привода микроперемещений i -го вторичного зеркала: 1 – шаговый микродвигатель А (шаговый двигатель В расположен строго за двигателем А и на рисунке не виден); 2 – микрометрический винт; 3 – гайка; 4 – соединительная муфта; 5 – корпус; 6 – пружина сжатия; 7 – i -е вторичное зеркало; 8 – охладитель; 9 – шаровая опора; 10 – лазерный пучок от i -го первичного зеркала; 11 – лазерный пучок от i -го вторичного зеркала; $X_{zi}, Y_{zi}, Z_{zi}, o_{zi}$ и X_i, Y_i, Z_i, o_i – системы координат, привязанные к центру 1-го вторичного зеркала и к точке воздействия винта 2 на охладитель 8; k_i – расстояние от внешней поверхности охладителя до центра от i -го вторичного зеркала

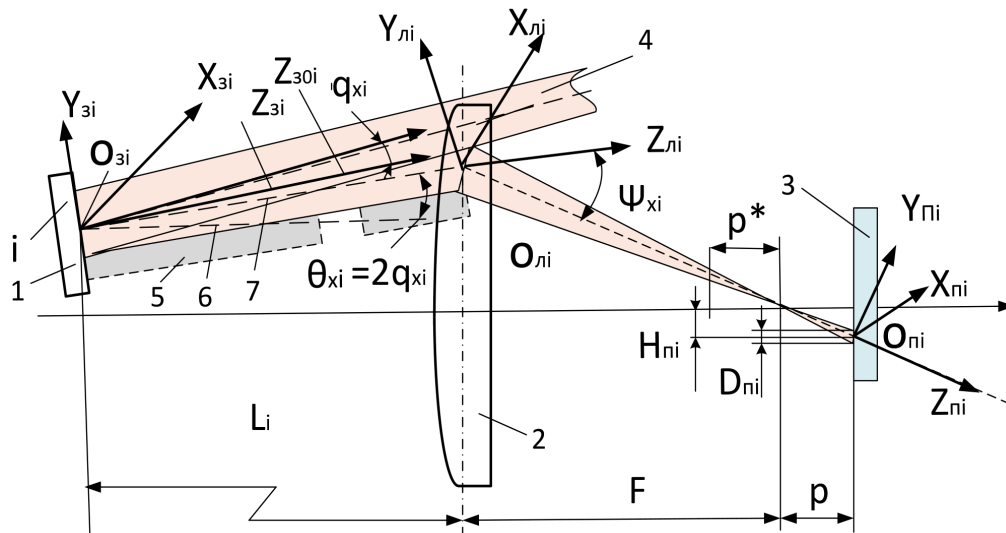


Рис. 4. Схема прохождения i -го лазерного пучка от i -го вторичного зеркала к объекту по сечению в плоскости поворота на угол q_{xi} : 1 – i -е вторичное зеркало; 2 – фокусирующая линза (длиннофокусная, преимущественно плоско-выпуклая); 3 – объект обработки; 4 – лазерный пучок от i -го первичного зеркала; 5 – условно обозначенное средство перемещения лучей до поверхности обработки, включая фокусирующую линзу 2; 6 – ось выходного луча в начальном положении i -го вторичного зеркала (параллельна оси Z_0); 7 – ось выходного луча при повороте зеркала на угол q_{xi} ; L_i – расстояние от центра i -го вторичного зеркала 1 до центра фокусирующей линзы 2 с учетом длины оптического тракта средства перемещения лучей до поверхности обработки; F – фокусное расстояние; p – проекция расстояния от точки фокуса до объекта обработки 3 на ось Z_0 инерциальной системы координат при расположении объекта обработки за фокусом; p^* – проекция расстояния от точки фокуса до объекта обработки 3 на ось Z_0 инерциальной системы координат при расположении объекта обработки перед фокусом (примем $p^* = p$); D_{ni} и H_{ni} – усредненный диаметр i -го лазерного пятна на поверхности объекта обработки и расстояние от центра i -го лазерного пятна на поверхности объекта до оси Z_0 инерциальной системы координат; ϕ – угол между центром лазерного пучка от i -го первичного зеркала и осью Z_0 инерциальной системы координат (постоянная величина); $X_{li}, Y_{li}, Z_{li}, O_{li}$ и $X_{ni}, Y_{ni}, Z_{ni}, O_{ni}$ – соответствующие системы координат

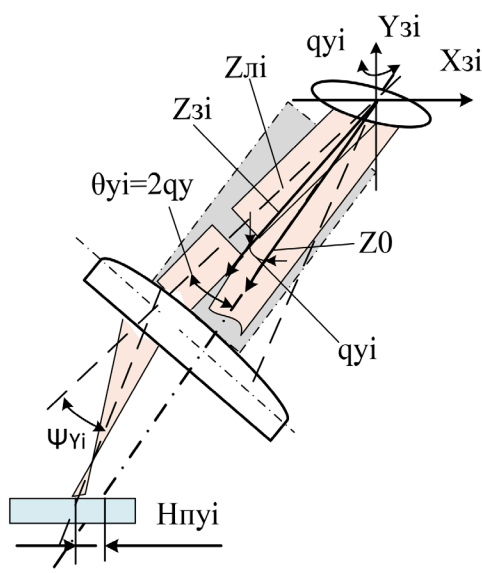


Рис. 5. Схема прохождения i -го лазерного пучка от i -го вторичного зеркала к объекту обработки в плоскости поворота на угол q_{yi} : H_{nyi} – расстояние от оптической оси до центра лазерного пятна на поверхности объекта обработки в плоскости поворота на угол q_{yi}

На рис. 3 представлена схема расположения компонентов привода микроперемещений i -го вторичного зеркала.

На рис. 4 схема прохождения i -го лазерного пучка от i -го вторичного зеркала к объекту обработки.

Условное обозначение средства перемещения лучей до поверхности обработки 5 в рассматриваемом случае допустимо вследствие использования оптической оси в качестве базовой системы координат, отражающие зеркала, располагаемые в нем являются плоскими, а также исходя из того, что лазерное излучение является одномерным и его расходимость не превышает 1 мрад. На рис. 5 представлена схема прохождения i -го лазерного пучка от i -го вторичного зеркала к объекту обработки в плоскости его поворота на угол q_{yi} .

Учитывая многомерность системы для построения математической модели телескопа целесообразно использовать скалярные или векторно-матричные преобразования [6, с. 13] и однородные координаты операций, а также их представление и преобразование в соответствии с правилом Де-

навита – Хартенберга операций [7, с. 415–419]. Построение модели телескопа можно разделить на три этапа:

- описание положения вторичных вогнутых зеркал в инерциальной системе координат;
- описание взаимосвязи положения вторичных вогнутых зеркал с углами поворота вала шаговых микродвигателей;
- описание взаимосвязи положения лазерных пятен на поверхности объекта обработки, заданного в инерциальной системе координат с углами поворота вала шаговых микродвигателей.

Положение вторичных вогнутых зеркал в инерциальной системе координат может быть представлено с помощью матричного преобразования

$$T_{O3} = T_{Oш} \cdot T_{шз}, \quad (1)$$

где T_{O3} – блочная диагональная матрица, описывающая положение вторичных вогнутых зеркал в инерциальной системе координат, которая имеет вид

$$T_{O3} = \text{diag} \parallel W_{0zi} \parallel, \quad (2)$$

где W_{0zi} – матрица размером 4×4 , описывающая положение координатных осей и центра i -го зеркала в инерциальной системе координат. $T_{Oш}$ – блочная диагональная матрица, описывающая положение шаровых опор в инерциальной системе координат; $T_{шз}$ – блочная диагональная матрица, описывающая положение вторичных вогнутых зеркал в координатах шаровых опор. Блочная диагональная матрица $T_{Oш}$ имеет вид

$$T_{Oш} = \text{diag} \parallel W_{0шi} \parallel, \quad (3)$$

где $W_{0шi}$ – матрица размером 4×4 , описывающая положение координатных осей и цен-

тра i -й шаровой опоры в инерциальной системе координат, имеющая вид

$$W_{0шi} = \begin{vmatrix} C\Psi_i & -S\Psi_i & 0 & RiS\Psi_i \\ S\Psi_i & C\Psi_i & 0 & RiC\Psi_i \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Примечание. C – Cos S – Sin. Матрица (3) отражает поворот координатной системы X_0, Y_0, Z_0, o_0 вокруг оси Z_0 против часовой стрелки (угол положительный) на угол Ψ_i и совмещение начал координат O_0 и $O_{шi}$.

Блочная диагональная матрица $T_{шз}$, описывающая положение центра и координатных осей вторичных вогнутых зеркал в координатах шаровых опор имеет вид

$$T_{шз} = \text{diag} \parallel W_{шzi} \parallel, \quad (5)$$

где $W_{шzi}$, где матрица размером 4×4 , описывающая положение центра i -го зеркала и координатных осей, связанных с i -м зеркалом в координатах i -й шаровой опоры и имеющая вид

$$W_{шzi} = W_{qxi} \cdot W_{qyi}, \quad (6)$$

где W_{qxi}, W_{qyi} – матрицы, описывающие последовательно выполняемые поворот осей координатной системы $X_{шi}, Y_{шi}, Z_{шi}, o_{шi}$ вокруг оси $X_{шi}$ на угол q_{xi} и перенос точки $o_{шi}$ в точку o_{zi} и затем поворот осей координатной системы $X_{шi}, Y_{шi}, Z_{шi}, o_{шi}$ вокруг оси Y_i на угол q_{yi} . Матрица W_{qxi} имеет вид

$$W_{qxi} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Cq_{xi} & -Sq_{xi} & RiC\Psi_i \\ 0 & Sq_{xi} & Cq_{xi} & -kiCq_{xi} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Матрица W_{qyi} имеет вид

$$W_{qyi} = \begin{vmatrix} Cq_{yi} & 0 & Sq_{yi} & kiCq_{yi} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -Sq_{yi} & 0 & Cq_{yi} & kiSq_{yi} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Произведение матриц (6) и (7) дает следующий результат:

$$W_{шzi} = \begin{vmatrix} Cq_{yi} & 0 & Sq_{yi} & kiCq_{yi} \\ Sq_{xi}Sq_{yi} & Cq_{xi} & -Sq_{xi}Cq_{yi} & -kiSq_{xi}Sq_{yi} + RiSq_{yi}Cxi \\ -Cq_{xi}Sq_{yi} & Sq_{xi} & Cq_{xi}Cq_{yi} & -ki(Cq_{xi}Sq_{yi} - Cq_{xi}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Произведение матриц (4) и (9) позволяет описать положение i -го вторичного зеркала в инерциальной системе координат:

$$W_{0zi} = \begin{vmatrix} C\Psi_i S q_{xi} S q_{yi} - S q_{xi} S q_{yi} S\Psi_i & -S\Psi_i C q_{xi} & C\Psi_i S q_{yi} + S q_{xi} C q_{yi} S\Psi_i & k_i C\Psi_i C q_{yi} + \\ S\Psi_i C q_{yi} + C\Psi_i S q_{xi} S q_{yi} & C\Psi_i C q_{xi} & S\Psi_i S q_{yi} - C\Psi_i S q_{xi} X C q_{yi} & k_i S\Psi_i C q_{yi} + r_i S q_{yi} C x_i \\ -C q_{xi} S q_{yi} & S q_{xi} & C q_{xi} C q_{yi} & -k_i (C q_{xi} S q_{yi} - C q_{xi}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Выполним описание взаимосвязи положения i -го вторичного вогнутого зеркала с углами поворота γ_{1i} и γ_{2i} вала двух шаговых микродвигателей, осуществляющих поворот зеркала вокруг осей $X_{ш1}$ и $Y_{ш1}$. В соответствии с рис. 2, б, и рис. 3 при повороте i -го вторичного вогнутого зеркала вокруг оси $X_{ш1}$ углы поворота γ_{1i} и γ_{2i} будут одинаковыми и равными величине

$$\gamma_{1i} = \gamma_{2i} = t_b^{-1} (r_i + h_i) \operatorname{tg} q_{xi}, \quad (11)$$

где t_b шаг винта. Смещения центра i -го вторичного вогнутого зеркала по осям Y_0 и Z_0 составят величины

$$\Delta Y_0 = r_i C q_{xi} - k_i S q_{xi}, \quad \Delta Z_0 = r_i (1 - C q_{xi}) + k_i S q_{xi}. \quad (12)$$

При повороте i -го вторичного вогнутого зеркала вокруг оси $Y_{ш1}$ углы поворота λ_{1i} и λ_{2i} будут равными величине и противоположными по направлению:

$$\lambda_{1i} = 0,5 M_i t_b^{-1} \operatorname{tg} q_{yi}, \quad \lambda_{2i} = -0,5 M_i t_b^{-1} \operatorname{tg} q_{yi}. \quad (13)$$

Смещения центра i -го вторичного вогнутого зеркала по осям X_0 и Z_0 составят величины

$$\Delta X_0 = k_i S q_{yi}, \quad \Delta Z_0 = k_i (1 - S q_{yi}). \quad (14)$$

Для описания взаимосвязи положения лазерных пятен на поверхности объекта обработки, с углами поворота вала шаговых микродвигателей, воспользуемся рис. 4 и 5. Поскольку при повороте i -го вторичного вогнутого зеркала из начального положения на углы q_{xi} и q_{yi} лазерный пучок повернется вокруг осей X_{zi} , Y_{zi} на углы $\theta_{лxi} = 2q_{xi}$ и $\theta_{лыi} = 2q_{yi}$ соответственно положение пучка на фокусирующей линзе можно описать матрицей:

$$W_{лzi} = \begin{vmatrix} C\theta_{лыi} & 0 & S\theta_{лыi} & -L_i C\theta_{лыi} \\ S\theta_{лxi} S\theta_{лыi} & C\theta_{лxi} & -S\theta_{лxi} C\theta_{лыi} & L_i S\theta_{лxi} S\theta_{лыi} \\ -C\theta_{лxi} S\theta_{лыi} & S\theta_{лxi} & C q_{xi} C\theta_{лыi} & L_i C\theta_{лxi} (S\theta_{лыi} - 1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (15)$$

Преобразование координатной системы $X_{ли}$, $Y_{ли}$, $Z_{ли}$, $о_{ли}$ в систему $X_{пi}$, $Y_{пi}$, $Z_{пi}$, описывающее ориентацию луча и положение лазерного пятна на поверхности объекта обработки в системе координат $X_{ли}$, $Y_{ли}$, $Z_{ли}$, $о_{ли}$, можно представить аналогичной матрицей:

$$W_{лпi} = \begin{vmatrix} C\Psi_{yi} & 0 & S\Psi_{yi} & -L_i C\Psi_{yi} \\ S\Psi_{xi} S\Psi_{yi} & C\Psi_{xi} & -S\Psi_{xi} C\Psi_{yi} & L_i S\Psi_{xi} S\Psi_{yi} \\ -C\Psi_{xi} S\Psi_{yi} & S\Psi_{xi} & C\Psi_{xi} C\Psi_{yi} & L_i C\Psi_{xi} (S\Psi_{yi} - 1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (16)$$

Расстояния до центров лазерных пятен на поверхности объекта обработки можно определить по скалярным выражениям:

– расстояние до центра пятна в инерциальной системе координат по оси Y_0 :

$$H_{пыi} = P V_{yi} F^{-1}; \quad (17)$$

– расстояние до центра пятна в системе координат по оси Y_0 относительно центра координат i -го вторичного вогнутого зеркала:

$$H_{пыi}^3 = P V_{yi}^3 F^{-1}; \quad (18)$$

– расстояние до центра пятна в инерциальной системе координат по оси X_0 :

$$H_{\text{pxi}} = PV_{\text{xi}} F^{-1}; \quad (19)$$

– расстояние до центра пятна в системе координат по оси X_0 относительно центра координат i -го вторичного вогнутого зеркала:

$$H_{\text{pxi}}^3 = H_{\text{pxi}}. \quad (20)$$

В выражениях (17)–(19) обозначено:

$$V_{\text{yi}} = R_i + r_i + L_i (\text{tg} \theta_{\text{xi}})^{-1};$$

$$V_{\text{yi}}^3 = R_i + r_i - H_{\text{pyi}};$$

$$V_{\text{xi}} = L_i (\text{tg} \theta_{\text{yi}})^{-1}.$$

Равенство (20) отражает совмещение осей X_0 и X_{zi} в исходном положении i -го вторичного вогнутого зеркала. Усредненный диаметр лазерного пятна на поверхности объекта обработки можно определить по выражению

$$D_{\text{pi}} = P D_i F^{-1}, \quad (21)$$

где D_i – диаметр лазерного пятна на входе в фокусирующую линзу.

Предложена структура универсального многофункционального лазерного комплекса на базе многолучевого лазера, оснащенного управляемым телескопом с управляемыми величиной мощности и положением лазерных пятен на поверхности объекта обработки, а также системой датчиков информации о параметрах выполнения технологического процесса. Получена математическая модель управляемого телескопа для построения алгоритмов управления

и подготовки программного обеспечения работой комплекса.

Заключение

Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при создании высокоавтоматизированных технологических лазерных комплексов различного назначения и широкой номенклатуры обрабатываемых изделий, а также при построении оптических систем с управляемым перемещением зеркал и линз.

Список литературы

1. Звелто О. Принципы лазеров / Пер., под науч. ред. Т.А. Шмаонова. СПб.: Лань, 2008. 720 с.
2. Вейко В.П., Петров А.А., Самохвалов А.А. Введение в лазерные технологии. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии» / под ред. Вейко В.П. СПб.: Университет ИТМО, 2018. 161 с.
3. Игнатов А.Г. Десять лет успеха: рынок фотоники и лазерных технологий (2004–2015 гг.) // Фотоника. 2015. № 3. С. 10–27. URL: <https://www.photonics.su/journal/article/4639?ysclid=m7naa35ay8285351501> (дата обращения: 27.02.2025).
4. Чухланцев Д.О., Умнов В.П., Мальцев В.В., Шипихин Д.А. Универсальный высокоавтоматизированный лазерный технологический комплекс на базе многолучевого лазера // Фотоника. 2020. Т. 14, № 6. С. 482–490. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.6.482.490.
5. Умнов В.П., Лятов Р.А. Система автоматизированной подготовки управляющих программ для лазерного упрочнения изделий сложной формы // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 8. С. 100–104. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37127> (дата обращения: 19.02.2025).
6. Климков Ю.М. Прикладная лазерная оптика. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.
7. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Пер. И. Г. Араманича (ред. пер.) и др. 6. изд., стер. СПб.: Лань, 2003. 831 с.

УДК 621.91.01
DOI 10.17513/snt.40370

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Чигиринский Ю.Л., Зебазе Н.Ж.А., Чигиринская Н.В.,
Норченко П.А., Демченко И.К.

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, e-mail: ndjaze@gmail.com

Представлены результаты статистического моделирования микрогеометрии поверхности, полученные при экспериментальном исследовании влияния технологических условий чистовой и получистовой токарной обработки. Целью исследования было выявить перечень элементов режима резания и других технологических условий обработки, в наибольшей степени определяющих состояние обработанной поверхности. Исследовано влияние технологических условий обработки при продольном наружном чистовом точении заготовок из углеродистой стали в состоянии нормализации. В качестве технологических условий рассмотрены глубина резания, скорость продольной подачи, скорость резания. При построении статистических регрессионных моделей учтено попарное взаимовлияние исходных независимых технологических факторов. Для оценки статистической значимости технологических условий обработки и их условных взаимодействий применен критерий Стьюдента. Статистическая достоверность (адекватность) моделирования оценена по критерию Фишера. Погрешность моделирования определена средним абсолютным значением относительной погрешности в сравнении с экспериментальными данными. Выбрана рациональная математическая спецификация регрессионной модели. Критерии выбора: минимальная относительная погрешность и максимальная статистическая адекватность модели. В соответствии с критериями адекватности и минимальной погрешности моделирования, а также в силу традиционных в технологическом проектировании представлений обосновано применение степенной функции нескольких переменных в качестве модели процесса формирования шероховатости.

Ключевые слова: шероховатость, токарная обработка, математическая модель, процесс обработки, оценка влияния, технологические условия обработки

STATISTICAL MODELING OF SURFACE ROUGHNESS WITH FINISH TURNING OF CARBON STEEL

Tchigirinsky Ju.L., Zebaze N.G.A., Chigirinskaya N.V.,
Norchenko P.A., Demchenko I.K.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: ndjaze@gmail.com

The results of statistical modeling of surface microgeometry obtained during an experimental study of the influence of technological conditions of finishing and semi-finishing turning are presented. The purpose of the study is to identify the list of elements of the cutting mode and other processing conditions that most determine the condition of the treated surface. The influence of technological processing conditions during longitudinal external finishing turning of carbon steel edges in a state of normalization is investigated. The following technological conditions are considered: cutting depth, longitudinal feed rate, cutting speed. When constructing statistical regression models, the pairwise interaction of the initial independent technological factors is taken into account. To assess the statistical significance of the technological conditions of processing and their conditional interactions, the Student's criterion was applied. The statistical reliability (adequacy) of the modeling is assessed according to the Fisher criterion. The modeling error is determined by the average absolute value of the relative error in comparison with the experimental data. A rational mathematical specification of the regression model is chosen. Selection criteria: minimum relative error and maximum statistical adequacy of the model. In accordance with the criteria of adequacy and minimum error of modeling, as well as due to traditional concepts in technological design, the use of a power function of several variables as a model of the roughness formation process is justified.

Keywords: roughness, turning, mathematical model, machining, effect assessment, processing conditions

Введение

Исследования в области механической обработки сосредоточены на двух аспектах: первый касается технологических разработок, направленных на повышение производительности и качества готовых деталей, второй – моделирование, которое используется для прогнозирования сил резания, температурных полей и свойств готовых поверхностей. На современном этапе развития технологий проектирования эффективность работы металлорежущего оборудования

во многом зависит от свойств и стабильности свойств материалов режущего инструмента, заготовки, характеристик других элементов технологической системы [1-3].

Изучение физических явлений, сопровождающих процессы механической лезвийной обработки и, соответственно, изучение закономерностей формирования свойств обработанной поверхности, традиционно проводится [3, 4] на примере токарной обработки. Такой подход был принят, поскольку, во-первых, однолезвийное точение «избавлено»

от комплекса усложняющих взаимодействий [5-7], связанных с одновременной работой нескольких режущих лезвий или сложностью геометрической формы обрабатываемой поверхности. Во-вторых, токарная обработка до настоящего времени остается наиболее распространенным [6, 8] методом механической лезвийной обработки.

Моделирование результатов обработки проведено на примере углеродистой стали С1018 (сталь 20 по ГОСТ 1050-2013). В процессе токарной обработки основные причины шероховатости поверхности связаны с тремя аспектами: геометрическими и физическими [6, 7] причинами и изменениями условий резания [5, 8] в процессе обработки. Рассмотрены три спецификации регрессионных моделей [9], наиболее часто применяемые в инженерном проектировании:

$$\text{линейная} \quad R = C_0 + \sum_{i=1}^n C_i \Phi_i; \quad (1)$$

$$\text{степенная} \quad R = C_0 \prod_{i=1}^n \Phi_i^{C_i}; \quad (2)$$

$$\text{показательная} \quad R = C_0 \prod_{i=1}^n C_i^{\Phi_i}; \quad (3)$$

где R – функция отклика; в данной работе в качестве функции отклика рассматривает-

ся среднее арифметическое отклонение высоты микронеровностей Ra ;

C_i – коэффициенты регрессионной модели;

$C_i > 0$ – зависимость возрастающая, при увеличении значения фактора значение функции увеличивается;

$C_i < 0$ – зависимость убывающая, при увеличении значения фактора значение функции уменьшается;

$C_i \approx 0$ – зависимость отсутствует, аргумент не оказывает влияния на функцию;

Φ_i – независимые переменные многофакторной регрессионной модели (факторы): технологические условия обработки: скорость резания V , глубина резания t и скорость продольной подачи S , предположительно оказывающие влияние на формирование качества поверхности;

n, i – соответственно количество и текущий номер рассматриваемых факторов.

Входные факторы должны удовлетворять условию взаимной независимости [9], что формально проверяется по величине абсолютного значения коэффициентов парной корреляции (табл. 1) «фактор – фактор» – величина коэффициента должна быть малой.

Помимо независимых факторов, названных выше, в регрессионных моделях учтено влияние взаимодействий [9] – рассмотрены псевдофакторы, образованные попарными сочетаниями независимых объясняющих переменных [10].

Таблица 1

Коэффициенты парной корреляции

Коэффициенты парной корреляции «фактор – фактор» и «фактор – функция отклика»

Ф2	Ф3	R	
0,0000	0,0000	-0,2374	Ф1
	0,0000	0,0519	Ф2
		-0,7765	Ф3

Цель исследования – выделить группы наиболее значимых по степени влияния на шероховатость технологических условий обработки, определяющих закономерности и результаты формирования микрорельефа обработанной поверхности.

Материалы и методы исследования

Теория регрессионного анализа позволяет анализировать и оценивать данные, полученные в результате моделирования. Функция отклика дает возможность каче-

ственно сравнить коэффициенты регрессии объясняющих факторов, затем выявить их влияние и, наконец, лучше понять закономерности в процессе формирования высоты микрорельефа обработанной поверхности Ra . Эта теория использована для анализа и оценки факторов, участвующих в процессе механической однолезвийной обработки [11, 12].

С учетом результатов, полученных ранее [5-7], сделано допущение о нелинейном характере зависимости высоты микро-

неровностей от технологических условий обработки. С учетом такого допущения план исследований для построения модели включает эксперименты [13, 14, 15] с тремя уровнями вариации факторов. Нормированные значения переменных модели равны $[-1; 0; +1]$. Реальные значения соответствующих физических величин при проведении определяются нормирующими соотношениями. Минимальное количество экспериментов, проведенных при различных неповторяющихся сочетаниях условий обработки, необходимое для построения модели [9, 11], составляет для трех независимых факторов V, S, t : $3^3 = 27$.

Условия обработки – продольное наружное чистовое точение *заготовок* из холоднокатаной углеродистой стали С1018. Глубина резания $t = 0,5 \dots 0,7$ мм, двухкарбидный твердый сплав Т15К6. Геометрия режущей части инструмента:

$$\gamma = 0^\circ, \alpha = \alpha_1 = 10^\circ, \phi = 45^\circ,$$

$$\phi_1 = 25^\circ, r = 0,3 \dots 0,4 \text{ мм.}$$

Результаты исследования и их обсуждение

Регрессионный анализ проводится в форме статистического исследования результатов эксперимента. Целью регрессионного анализа является определение перечня технологических факторов и их

взаимодействий, оказывающих статистически значимое влияние на шероховатость поверхности (Ra). Критерии выбора модели, обеспечивающей наиболее качественное [11] описание процесса: стандартное отклонение; средняя относительная погрешность; F-критерий Фишера; оценка адекватности модели – вероятность существования выявленной зависимости.

В таблице 2 приведен план проведения экспериментальных исследований [8]. Условия резания, используемые для испытаний, изменяются в следующих диапазонах: $V = [50-120]$ м/мин; $S = [0,08-0,16]$ мм/об; $t = [0,5-0,7]$ мм.

Функциональная связь между входными параметрами (V, S и t) и выходными параметрами (Ra), определяемыми как параметры технологической обработки, называется регрессией. Отметим, что для обеспечения корректности регрессионного моделирования необходимо, чтобы для переменных величин, входящих в модель, выполнялся комплекс условий [9, 11] Гаусса–Маркова. Для обеспечения этих условий производится операция нормирования [11]. Способ нормирования определяется спецификацией исходной модели.

В результате нормирования математические зависимости (1), (2), (3) рассматриваемых спецификаций принимают линейный вид (4).

$$\text{линейная} \quad Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i \quad (4)$$

где Y – функция отклика нормированной модели;

X_i – независимые переменные нормированной модели;

a_i – коэффициенты регрессии нормированной модели (рис. 1); численные значения коэффициентов регрессии нормированной модели равны частным производным $a_i = Y'_{X_i}$ нормированной функции отклика по соответствующим независимым переменным нормированной модели (4).

Таблица 2

Фрагмент массива исходных данных в размерном и нормированном виде

№	V	S	t	Шероховатость Ra , мкм	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 * X_2$	$X_1 * X_3$	$X_2 * X_3$
1	50	0,08	0,50	2,09	1	-1	-1	-1	1	1	1
2	50	0,08	0,60	1,71	1	0	-1	-1	0	0	1
3	50	0,08	0,70	1,56	1	1	-1	-1	-1	-1	1
...											
26	120	0,16	0,60	1,86	1	0	1	1	0	0	1
27	120	0,16	0,70	1,65	1	1	1	1	1	1	1

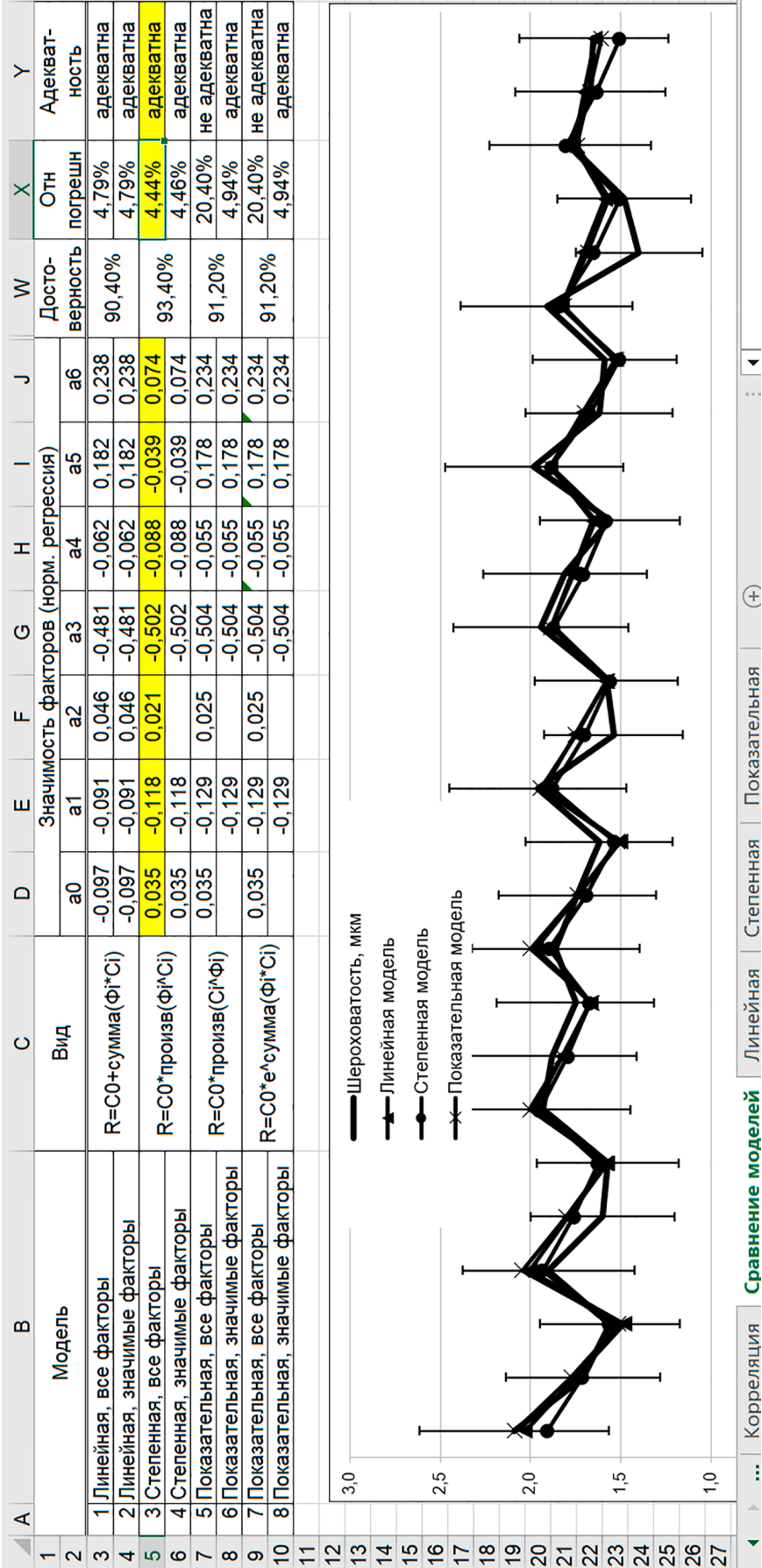


Рис. 1. Рабочий лист «Сравнение моделей»

[illegible]

Рис. 2. Рабочий лист «Степенная»

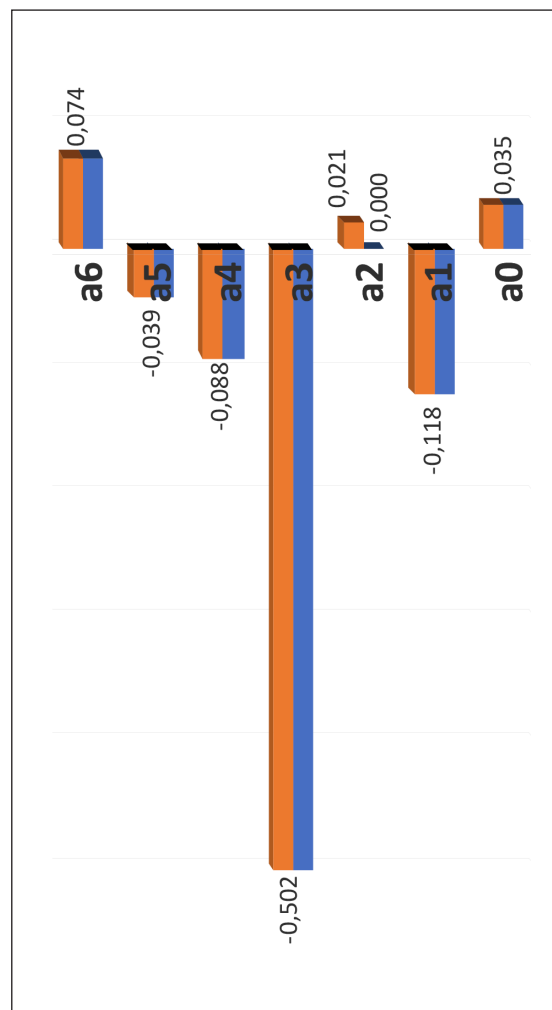


Рис. 3. Сравнение значимости технологических условий обработки

Поскольку все переменные нормированной модели имеют одинаковый численный масштаб и являются безразмерными математическими величинами, для независимых переменных допустима операция оценки сравнительной значимости соответствующих технологических факторов процесса на функцию отклика по величине коэффициентов регрессии нормированной модели.

Пример расчета коэффициентов a_i показан на рисунке 2.

Анализ данных, представленных на рисунках 1, 2, позволяет сделать следующие выводы. Средняя относительная погрешность показательной модели превышает аналогичные параметры линейной и степенной (12,67% – показательная; 4,79% – линейная; 4,45% – степенная). Максимальная относительная погрешность модели составляет около 17%, а средняя относительная погрешность – 4%.

В контексте обсуждаемой модели значимость фактора относится к его статистической значимости в пределах интервалов варьирования переменных исходной модели. Это означает, что факторы, которые были определены как значимые, оказывают влияние на результаты модели, в то время как незначимые факторы могут быть исключены из анализа без потери важной информации. Важность того или иного фактора оценивается путем определения коэффициентов регрессии. Они могут принимать положительные или отрицательные значения, указывая на направление их влияния. Гистограмма на рисунке 3 показывает значения коэффициентов регрессии $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ и a_6 для изучаемой линейной модели.

В электронной таблице для степенной модели на рисунке 2 представлены коэффициенты регрессии 0,04, –0,12, 0,02, –0,50, –0,09, –0,04 и 0,7. Эти коэффициенты используются для определения значимых факторов для модели. Они получены с достоверностью более 93%.

Из семи факторов три являются независимыми и соответствуют технологическим условиям обработки – эти три фактора учитывают взаимодействие технологических условий обработки. Один из независимых факторов (Φ_2) в результате оценки значимости с вероятностью не менее 93,4% (рис. 2) признан статистически не значимым, соответственно, коэффициент регрессии $a_2 = 0$.

Влияние фактора Φ_2 (скорость линейной подачи S) для условий чистовой обработки можно рассматривать как случайное. Объяснить подобное явление можно тем, что при чистовом точении глубина резания сравнима по величине с радиусом при вершине резца и удельное влияние пластического деформирования в зоне обработки сравнимо с влиянием собственно процесса стружкообразования. Фактически имеет место явно выраженное обкатывание обрабатываемой поверхности [8].

Построенная степенная модель (рис. 4) достоверна с вероятностью более 90%. Качественное сравнение коэффициентов регрессии переменных позволяет выделить два значимых технологических фактора: скорость резания V и глубина резания t . Глубина резания имеет гораздо большее влияние ($a_3 = -0,502$, рис. 3), чем скорость резания ($a_1 = -0,118$, рис. 3), что также объясняется явно выраженным процессом поверхностного пластического деформирования и развитым силовым механизмом формирования свойств обработанной поверхности.

Черная линия с «отсечками погрешности» – экспериментальные данные, на основе которых построены модели. На рис. 2 показаны коэффициенты регрессии нормированных моделей – определенные без проверки статистической значимости (строка 14) и статистически значимые (строка 12). Выделенное поле – ячейки K6:N7 – представляет «виртуальный калькулятор» для вычисления высоты микронеровностей, прогнозируемой при определенных условиях обработки.

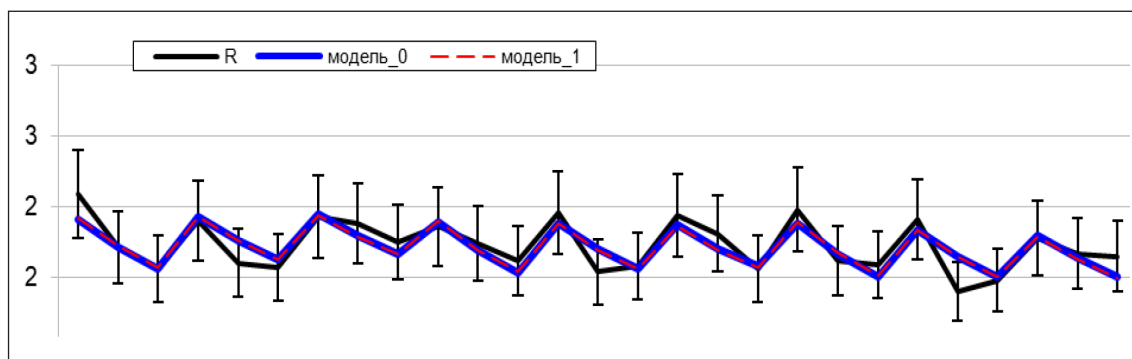


Рис. 4. Представление шероховатости поверхности для степенной модели

Заключение

С помощью статистического анализа выявлены два основных технологических фактора, определяющих формирование микропрофиля при чистовом точении углеродистой стали: скорость резания V и глубина резания t . Глубина резания оказывает значительное влияние на процесс резания. Поскольку глубина резания сопоставима с радиусом кривизны режущего инструмента, то при малых подачах и малых глубинах фактически не происходит резания. Вместо этого наблюдаются такие явления, как пластическое деформирование и трение. При увеличении глубины резания и скорости подачи (ширины и толщины срезаемого слоя) удельная доля процесса резания в совокупности механизмов формирования поверхностного слоя возрастает, влияние геометрии инструмента и температурных явлений на микропрофиль также увеличивается.

Вероятность корреляции между скоростью и шероховатостью составляет более 90%. Другими словами, чем выше скорость, тем ниже шероховатость. Глубина резания оказывает значительное влияние на шероховатость. При постоянной глубине резания шероховатость уменьшается, а коэффициент корреляции между этими двумя параметрами составляет 90%. Более глубокий срез может способствовать получению более чистой поверхности. Погрешность модели в среднем составляет 17%, что считается вполне приемлемым при прогнозировании сложных стохастических процессов. Вероятность того, что зависимость определена правильно, – более 90%.

Список литературы

1. Ингеманссон А.Р. Характеристика, состав, механизмы функционирования и современные аспекты внедрения цифровых производственных систем в машиностроение // Научные технологии в машиностроении. 2018. № 8 (86). С. 25-32. DOI: 10.30987/article_5b53640259b448.70821734.
2. Норенков И.П., Капустин Н.М., Васильев Г.Н. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования. М.: Высшая школа, 1986. 191 с.
3. Чигиринский Ю.Л. Современное состояние и тенденции развития технологической подготовки машиностроительного производства // Научные технологии в машиностроении. 2020. № 8 (110). С. 29-35. DOI: 10.30987/2223-4608-2020-8-29-35.
4. Kraynev D.V., Sergeev A.S., Tikhonova Z.S. Structuring control of facial layer during edge cutting machining // Materials Science Forum. 2019. Vol. 973. P. 51-55. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.973.51.
5. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
6. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
7. Суслов А.Г., Петрушин Д.И., Федонин О.Н., Ханджко В.А. Автоматизация управления параметрами качества поверхностного слоя и эксплуатационными свойствами деталей машин при обработке резанием // Научные технологии в машиностроении. 2019. № 8. С. 28-36. DOI: 10.30987/article_5d2635cb62fb56.07245294.
8. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. М.: Машиностроение, 1992. 240 с.
9. Чигиринская Н.В., Чигиринский Ю.Л., Горобцов А.С. Моделирование неперiodических стохастических процессов: учеб. пособие. Волгоград: ВолГТУ, 2019. 108 с.
10. Чигиринский Ю.Л., Куанг Чонг Нго Влияние тепловых процессов на характеристики микропрофиля фрезерованной поверхности // Известия ВолГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. Волгоград. 2016. № 5 (184). С. 48-51.
11. Чигиринская Н.В., Чигиринский Ю.Л., Горобцов А.С. Планирование эксперимента в задачах техники и экономики: учеб. пособие. Волгоград: ВолГТУ, 2015. 93 с.
12. Tchigirinsky Ju.L., Gribanova N., Gontar A.P., Chigirinskaya N.V. Multidimensional Model of Product Quality Formation, MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 346. 6 p. DOI: 10.1051/mateconf/202134601006.
13. Kraynev D.V., Frolov E.M., Norchenko P.A. Formation of the surface layer properties in edge cutting machining of stainless and heat-resistant steels // Materials Science Forum. 2019. Vol. 973 P. 56-60. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.973.56.
14. Кузнецова Е.М., Овсянников В.Е., Ковенский И.М., Некрасов Р.Ю. Особенности микрорельефа шероховатости при токарной обработке закаленных сталей // Современные научные технологии. 2023. № 8. С. 45-50. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39729> (дата обращения: 20.02.2025). DOI: 10.17513/snt.39729.
15. Chigirinskiy J.L., Nesterenko P.S., Smirnova E.N. Inspecting the quality of a surface layer in non-rigid shafts turning by adaptive control over the process of cutting, Materials Science Forum. 2019. Vol. 973. P. 212-218. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.973.212.

СТАТЬИ

УДК 37.015:378.17

DOI 10.17513/snt.40371

**СУЩНОСТЬ И СТРУКТУРА
СОЦИАЛЬНОГО ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ****Акоев А.Р., Малиева З.К.***ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова»,
Владикавказ, e-mail: zkmal@yandex.ru*

В современных условиях информатизации общества актуальность исследования проблемы социального здоровья студентов значительно возрастает. Это связано с ростом влияния Интернета и информационных технологий практически на все сферы жизни человека, приводящим к трансформации коммуникативных навыков, нарушению межличностных связей, затруднению процессов адаптации и социализации. В связи с этим приоритетной задачей системы образования становится формирование социального здоровья обучающихся. Цель исследования заключается в комплексном изучении сущности социального здоровья студентов и выявлении критериев его оценки. Для достижения данной цели использовались следующие методы: теоретические (анализ, моделирование, сравнение и обобщение) и эмпирические (наблюдение, беседа, анкетирование). В ходе проведенного исследования была определена сущность социального здоровья студентов как сложного многоуровневого динамического состояния личности, формирующегося в процессе общения и взаимодействия с другими и позволяющего успешно адаптироваться к условиям среды, устанавливать гармоничные взаимоотношения, активно участвовать в общественной жизни. Конкретизированы интегральные критерии оценки уровня социального здоровья студентов: социальная адаптированность, личностная зрелость, самоактуализация, социальная активность. На основе выделенных критериев проведена диагностика, результаты которой выявили средний уровень социального здоровья у большинства студентов. Они отличались конформностью, внешним согласием с ценностями и нормами группы; в отдельных случаях испытывали сложности в общении, разрешении конфликтов и адаптации к новым ситуациям. Материалы исследования позволяют выявить возможные риски в процессе социализации студентов и определить оптимальные стратегии для решения ключевых проблем, возникающих в сфере межличностных отношений.

Ключевые слова: социальное здоровье, компоненты социального здоровья, диагностика социального здоровья, социальная зрелость, студенты

**THE ESSENCE AND STRUCTURE
OF SOCIAL HEALTH OF STUDENTS****Akoev A.R., Malieva Z.K.***North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov,
Vladikavkaz, e-mail: zkmal@yandex.ru*

In the modern conditions of informatization of society, the relevance of studying the problem of students' social health increases significantly. This is due to the growing influence of the Internet and information technology on almost all spheres of human life, leading to the transformation of communication skills, disruption of interpersonal relationships, and difficulty in the processes of adaptation and socialization. In this regard, the priority task of the education system is the development of students' social health. The purpose of the study is to comprehensively study the essence of students' social health and identify criteria for its assessment. To achieve this goal, the following methods were used: theoretical (analysis, modeling, comparison and generalization) and empirical (observation, conversation, questionnaires). In the course of the study of students' social health was determined as a complex multi-level dynamic state of the individual, formed in the process of communication and interaction with others and allowing them to successfully adapt to environmental conditions, establish harmonious relationships, and actively participate in public life. The integral criteria for assessing the level of students' social health are specified: social adaptability, personal maturity, self-actualization, social activity. Based on the identified criteria, diagnostics were conducted, the results of which revealed an average level of social health in most students. They were distinguished by conformity, external agreement with the values and norms of the group; in some cases, they experienced difficulties in communication, conflict resolution and adaptation to new situations. The research materials allow us to determine possible risks in the process of socialization of students and determine optimal strategies for solving key problems arising in the sphere of interpersonal relations.

Keywords: social health, components of social health, diagnostics of social health, social maturity, students

Введение

В современном мире возрастает потребность в специалистах, обладающих не только профессиональными знаниями, но и способностями к взаимодействию, конструктивной коммуникации и самореализации в условиях быстро меняющегося мира. Известно,

что социальное здоровье является гарантом благополучия личности в обществе, позволяя ей успешно сотрудничать с другими, добиваться намеченных целей, адаптироваться в изменяющихся условиях, реализовываться в профессиональном и личностном плане. Поэтому стратегическим ориентиром вос-

питания становится формирование целеустремленной, ответственной личности, осознающей себя частью коллектива, способной помогать другим, вносить свой вклад в общее дело. Однако происходящие в современном обществе информатизация и компьютеризация практически всех областей деятельности человека, его переход в пространство виртуального общения привели к деформациям коммуникативных навыков, разрушению межличностных связей в реальном мире. Об этом свидетельствуют данные исследования, проведенного Н.П. Сетко, О.М. Ждановой, А.Г. Сетко, в котором 89,5% студентов без признаков интернет-зависимости и 77,8% студентов с интернет-зависимостью продемонстрировали средний уровень социального здоровья, характеризующийся конформным социальным функционированием, скрытым неприятием социального окружения; лишь у 10,5% студентов без признаков интернет-зависимости и у 5,6% интернет-зависимых студентов зарегистрирован высокий уровень социального функционирования, отражающий адаптированность в социальной среде [1]. В связи с этим проблема формирования социального здоровья студенческой молодежи становится одной из актуальных в современном обществе.

Целью исследования является выявление сущности и структуры социального здоровья студентов.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования использовались теоретические методы исследования, включающие анализ литературы по педагогике, психологии, социологии; моделирование; сравнение; обобщение, которые расширили понимание сущности социального здоровья студентов и позволили выделить в его структуре четыре интегральных критерия, необходимых для проведения диагностики. Диагностику уровня социального здоровья осуществляли с помощью методики Е.В. Цикалюк [2]. Кроме этого, для оценки выделенных критериев социального здоровья использовали такие методы, как наблюдение, беседа, а также:

- методику диагностики личностной зрелости В.А. Руженкова, В.В. Руженковой, И.С. Лукьянцевой [3];
- методику исследования адаптированности студентов в вузе Т.Д. Дубовицкой, А.В. Крыловой [4];
- методику исследования уровня самоактуализации личности [5];
- методику диагностики компонентов социально-ориентированной активности Р.М. Шамяниной, М.В. Григорьевой [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе теоретического анализа работ [7-10] было установлено, что социальное здоровье личности представляет собой один из важнейших аспектов общего здоровья, который включает способность продуктивно взаимодействовать с окружающими, строить гармоничные отношения, а также быть активным и ответственным членом общества.

В психологии социальное здоровье рассматривается как необходимое условие для успешной адаптации личности в обществе [11], подчеркиваются важность межличностных отношений, взаимодействий и баланса между внутренними импульсами личности и требованиями общества для поддержания ее психического и социального благополучия (З. Фрейд [12]), необходимость удовлетворения социальных потребностей (например, потребности в принадлежности и любви, в уважении и признании) для достижения высокого уровня психологического благополучия личности; обосновывается взаимосвязь между уровнем социального здоровья и самореализацией личности (А. Маслоу [13, с. 66–82]). Р.В. Овчарова рассматривает социальное здоровье как многогранный процесс, в котором важны не только соблюдение внешних норм и адаптация к условиям, но и сохранение внутреннего контроля, уникальности и способности к саморегуляции. В этом контексте социальное здоровье становится важной составляющей общей психоэмоциональной гармонии личности и ее благополучия в обществе [14, с. 38].

В педагогике социальное здоровье рассматривается как ключевой фактор, обуславливающий гармоничность взаимоотношений в обществе, социальное благополучие ребенка и детского коллектива. Неумение общаться и взаимодействовать с другими приводит к снижению самооценки, утрате уверенности в себе, развитию депрессии и апатии, а также к потере мотивации и желания добиваться целей в жизни, что негативно отражается не только на индивидуальном благополучии обучающихся, но и на обществе в целом [15]. Л.А. Байкова рассматривает социальное здоровье человека как важное личностное новообразование, которое развивается в процессе взаимодействия индивида с окружающим миром [16, с. 26]. Социальное здоровье как совокупность нравственных ценностей, установок и мотивов деятельности, обеспечивающих установление гармоничных взаимоотношений человека, рассматривают Э.И. Поднебесная [17], Е.Н. Пристupa [18, с. 266].

В ходе проведенного теоретического анализа научной литературы были выделены 4 интегральных критерия, определяющих социальное здоровье личности: социальная адаптированность, личностная зрелость, самоактуализация, социальная активность.

Социальная адаптированность представляет собой способность человека успешно интегрироваться в социальную среду, эффективно взаимодействовать с окружающими, воспринимать и соблюдать социальные нормы и ценности, а также адаптироваться к изменениям в обществе и его требованиям. В образовательном процессе социальная адаптированность студентов проявляется в способности эффективно интегрироваться в различные социальные группы, взаимодействовать с преподавателями, однокурсниками и другими участниками учебной и внеучебной среды. Это важное качество, которое помогает преодолевать трудности и добиваться успеха в любых обстоятельствах. У.Д. Антипина, С.Н. Алексеева, О.Н. Дмитриева в качестве основных аспектов адаптированности, определяющих успешность межличностных отношений студентов, приводят эмоциональную устойчивость, стрессоустойчивость, гибкость мышления, самообладание, целеустремленность, мотивированность, социальную ответственность [19].

Социальная зрелость, по мнению И.С. Кона, проявляется в способности человека достигать гармонии внутри себя, адекватно воспринимать окружающих, сотрудничать с ними, играть «взрослые» роли и нести вытекающую из них ответственность. Важно, что социальная зрелость не является конечной стадией, а представляет собой динамичный процесс развития, в котором важными аспектами являются самостоятельность и рефлексия [20, с. 126–128]. Р.И. Погорова определяет данный феномен как характеристику личности студента, которая проявляется в его стремлении и способности к самореализации посредством изменения социальной реальности во взаимодействии с другими людьми или группами в соответствии с культурно-историческими условиями [21]. Конкретизируя данные качества, О.А. Фиофанова определяет меру социальной зрелости через ответственность, самостоятельность и нравственность личности [22, с. 32–41].

Самоактуализация представляет собой процесс реализации и максимального раскрытия личного потенциала человека, стремление к полной самореализации и достижению высших целей в жизни. Самоактуализация играет ключевую роль в фор-

мировании социального здоровья студентов, поскольку она способствует не только личностному росту, но и эффективной адаптации в социальной среде, установлению гармоничных отношений с окружающими и психоэмоциональной устойчивости. Л.А. Байкова выделила самоактуализацию в качестве критерия социального здоровья личности [23]. Важное значение в контексте данного исследования имеет то, что в процессе самоактуализации развиваются ключевые компоненты социального здоровья (эмпатия, навыки сотрудничества, конструктивного общения и разрешения конфликтов), укрепляется уверенность в своих силах, снижается тревожность [13, с. 210–218].

Социальная активность включает в себя не только реакцию на происходящие события, но и активное стремление влиять на общественные процессы и условия, что отражает важность инициативы, стремления к улучшению социальной реальности и готовности к конструктивным изменениям [24]. Она может выражаться в различных формах межличностного взаимодействия: в социально значимых мероприятиях, гражданской активности личности, в виртуальной среде [25].

Проекция специфических характеристик социального здоровья на целостную структуру личности дает возможность выделить совокупность когнитивного, эмоционального, духовно-нравственного, мотивационно-волевого и поведенческого компонентов исследуемого феномена.

Когнитивный компонент социального здоровья студентов связан с восприятием, осознанием и оценкой ситуаций, возникающих в образовательном процессе в ходе общения и взаимодействия с другими. Этот компонент включает в себя: способность анализировать и адекватно реагировать на ситуации, возникающие в общении с другими студентами, преподавателями и административным персоналом; умение оценивать различные точки зрения и понимать причины и последствия определенных социально-психологических событий (например, групповых конфликтов, общения в команде, отношений с преподавателями); понимать свои обязанности, роль и ответственность в учебной и социальной среде вуза; планировать и организовывать свою учебную и социальную жизнь таким образом, чтобы добиваться успехов в обеих сферах; знать и понимать социальные нормы, ценности и этикет, которые регулируют поведение в пространстве вуза; осознавать свое положение в семье, в обществе, в рамках групповой или культурной идентичности.

Эмоциональный компонент социального здоровья студентов представляет собой способность понимать, контролировать и адаптировать свои эмоциональные реакции в контексте социальных взаимодействий. Эмоции играют ключевую роль в установлении и поддержании отношений, а также в регулировании взаимодействий с окружающим миром [26]. В частности, для студентов данный компонент проявляется в способности: сохранять спокойствие и внутреннее равновесие в стрессовых, конфликтных или неопределенных ситуациях; быстро восстанавливаться после неудач или разочарований (например, плохих оценок, социальной изоляции или конфликтов с друзьями); чувствовать и понимать переживания сверстников, преподавателей и других людей в сообществе; сохранять позитивный настрой даже в сложных ситуациях; понимать и разделять эмоции других людей.

Духовно-нравственный компонент социального здоровья студентов включает моральные ценности, принципы и нормы, которые формируют отношение студентов к окружающим и влияют на качество межличностных отношений. Содержание данного компонента включает, с одной стороны, базовые принципы (честность, достоинство, справедливость, жизнь, гуманизм, добро, любовь), а с другой – духовно-нравственные ценности, имеющие значение для граждан конкретного государства (любовь к Родине, коллективизм, верность героическому прошлому и лучшим традициям, готовность к защите Отечества, признание и сохранение великого духовного наследия России и др.) [27].

Мотивационно-волевой компонент социального здоровья включает мотивы, цели, внутренние установки, способность студентов справляться с трудностями. Показателями мотивационно-волевого компонента студентов являются: умение ставить перед собой цели как в учебе, так и в общественной жизни; стремление к получению знаний, достижению профессиональных успехов, а также к личностному росту; мотивация к социальному взаимодействию, участию в жизни учебного коллектива и общественной деятельности; способность проявлять упорство и настойчивость в достижении долгосрочных целей, таких как успешная учеба, несмотря на временные трудности или скучные задачи; умение продуктивно организовывать свое время, избегать прокрастинации и выполнять задачи в срок.

Поведенческий компонент социального здоровья студентов охватывает практическую сторону их взаимодействия с окружа-

ющим миром. Он включает совокупность навыков, умений и привычек, которые проявляются в реальных действиях и поступках, способствующих установлению и поддержанию гармоничных отношений, таких как: коммуникативные навыки, позволяющие ясно выражать свои мысли, слушать, понимать и учитывать мнение других, а также участвовать в совместных проектах, групповых заданиях и научных исследованиях, конференциях, в культурных и волонтерских мероприятиях; умение разрешать конфликты, находить компромиссы и избегать эскалации агрессии; умение выстраивать доверительные отношения с одноклассниками, преподавателями и сотрудниками университета; умение адаптироваться к новым условиям учебного процесса (например, онлайн-обучению, смешанным формам обучения).

Данные компоненты и интегральные критерии определили выбор диагностических методик экспериментального исследования, в ходе которого высокий уровень социального здоровья был зафиксирован у 18% студентов факультета физической культуры и спорта, 14% студентов факультета математики и компьютерных наук, 16% студентов исторического факультета. Обучающиеся быстро адаптировались к условиям образовательного процесса, проявляли социальную активность, были удовлетворены предоставляемыми условиями.

Средний уровень социального здоровья был выявлен у 69% студентов факультета физической культуры и спорта, 62% студентов факультета математики и компьютерных наук, 61% студентов исторического факультетов. Эти обучающиеся отличались склонностью к конформизму, отсутствием критического подхода к мнению большинства, внешним согласием с ценностями и нормами своей группы, сдержанностью в выражении своих взглядов, действий и личной позиции, а также скрытым неприятием своего социального окружения.

Низкий уровень социального здоровья был зафиксирован у 11% студентов факультета физической культуры и спорта, 21% студентов факультета математики и компьютерных наук, 19% студентов исторического факультетов. Обучающиеся характеризовались пассивностью в социальных взаимодействиях; сопротивлением изменениям; нежеланием изменять свои негативные привычки, отношение к другим людям; попустительством, равнодушием к общественным делам, безответственностью, неспособностью адаптировать поведение к новым социальным ситуациям.

Уровень социального нездоровья (или асоциальности) был выявлен у 2% студентов факультета физической культуры и спорта, 3% студентов факультета математики и компьютерных наук, 4% студентов исторического факультета. Обучающиеся характеризовались слабой адаптированностью; игнорированием социальных требований; невыполнением требований педагогов; дистанцированием от других; непониманием важности социальных норм и отсутствием стремления к установлению здоровых социальных связей.

В ходе исследования не было обнаружено студентов на уровне социальной болезни (или антисоциальности), характеризующихся враждебностью, негативным отношением к окружающим; агрессией; презрением к общественным нормам и открытым неприятием тех, кто придерживается этих норм; ориентированностью на антисоциальные ценности; деятельностью, направленной на разрушение или подрыв общественного порядка.

Заключение

В ходе исследования наилучшие результаты показали обучающиеся факультета физической культуры и спорта. Это связано с тем, что студенты данного факультета часто участвуют в командных видах спорта, групповых тренировках и спортивных мероприятиях, что способствует развитию командного духа, сотрудничества и взаимопомощи. Однако физическая активность не только способствует улучшению физического здоровья, но и положительно влияет на психоэмоциональное состояние. Студенты, занимающиеся спортом, как правило, имеют более высокую самооценку, более высокий уровень уверенности в себе, что помогает им легче адаптироваться к учебным и социальным условиям.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что в целом большинство студентов обладают средним уровнем социального здоровья. Они социально адаптированы, однако их поведение отличается конформностью, отсутствием активной жизненной позиции, внешним согласием с ценностями и нормами большинства, с общими установками, что может свидетельствовать о недостаточной самостоятельности, пассивности в общественно значимой деятельности.

Таким образом, социальное здоровье обучающихся представляет собой многоуровневое динамическое состояние личности, формирующееся в процессе общения и взаимодействия с другими и позволяющее ей успешно адаптироваться к условиям среды, устанавливать гармоничные взаимо-

отношения, активно участвовать в общественной жизни. Для поддержания социального здоровья студентов необходимы развитие коммуникативных навыков, эмпатии, нравственных качеств; создание условий для самореализации личности. Структура социального здоровья личности включает когнитивный, эмоциональный, духовно-нравственный, мотивационно-волевой и поведенческий компоненты. Интегральными критериями оценки социального здоровья являются: социальная адаптированность, личностная зрелость, самоактуализация, социальная активность.

Материалы исследования позволяют определить возможные риски в процессе социализации обучающихся и открывают возможности для определения оптимальных стратегий решения основных проблем, возникающих в сфере межличностных отношений, создания условий для успешной адаптации студентов в образовательной среде и их дальнейшей интеграции в общество.

Список источников

1. Сетко Н.П., Жданова О.М., Сетко А.Г. Психосоциальные особенности студентов с разным уровнем риска интернет-зависимого поведения // Российский вестник гигиены. 2024. № 1. С. 37-45. DOI: 10.24075/rbh.2024.091.
2. Цикалюк Е.В. Методика оценки уровня социального здоровья студенческой молодежи // Вестник Забайкальского государственного университета. 2013. № 5 (96). С. 87-92. URL: https://zabvestnik.com/wp-content/uploads/040119100147-vest_05_13.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
3. Руженков В.А., Руженкова В.В., Лукьянцева И.С. Методика диагностики личностной зрелости // Научные ведомости. Серия: Медицина. Фармация. 2016. № 26 (247). Выпуск 36. С. 65-70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28201272> (дата обращения: 10.02.2025).
4. Дубовицкая Т.Д., Крылова А.В. Методика исследования адаптированности студентов в вузе // Психологическая наука и образование. 2010. № 2. С. 1-12. URL: https://psyjournals.ru/journals/psyedu/archive/2010_n2/27814 (дата обращения: 10.02.2025).
5. Казакова Ю.А. Диагностика самоактуализации личности с целью формирования социальной инициативности у студентов педагогического вуза // Мир науки, культуры, образования. 2023. № 2 (99). С. 26-28. DOI: 10.24412/1991-5497-2023-299-26-28 (дата обращения: 10.02.2025).
6. Шамионов Р.М., Григорьева М.В. Методика диагностики компонентов социально-ориентированной активности // Сибирский психологический журнал. 2019. № 74. С. 26-41. DOI: 10.17223/17267080/74/2.
7. Акоев А.Р., Малиева З.К. Формирование социального здоровья студентов как базовой личностной ценности // ЦИТИСЭ. 2023. № 1 (35). С. 292-299. URL: <https://mal123.ru/ru/2023/03/id-0404-ru/> (дата обращения: 10.02.2025).
8. Mirzayeva S.S., Sadigova Z.I. Socio-psychological issues of students' mental health // Scientific News. Series for Social and Humanitarian Studies. 2021. Т. 17, № 3. С. 91-95. URL: <https://www.ssu-scientificnews.edu.az/pdf/S21-4.pdf> (дата обращения: 10.02.2025).
9. Коваль Н.А., Лобач М.А. Социальное здоровье в контексте изучения социальных связей как условия психологического и психического здоровья (обзор зарубежных исследований) // Гаудеамус. 2024. Т. 23, № 4. С. 9-14. DOI: 10.20310/1810-231X-2024-23-4-9-14.

10. Байкова Л.А. Проблемы социального здоровья обучающихся в гетерогенных образовательных организациях в условиях широких миграционных процессов // Непрерывное образование. 2019. № 1 (27). С. 38-41. URL: <https://spbappo.ru/svedeniya-ob-obrazovatelnoy/osnovnyye-svedeniya/nauchnaya-deyatelnost/zhurnal-nepreryvnoye-obrazovaniye/> (дата обращения: 10.02.2025).
11. Абатаева П.Н. Социальная адаптация личности // Вестник Социально-педагогического института. 2020. № 3 (35). С. 87-97. URL: [https://spi-vuz.ru/common/nauka/Vestnik_3\(35\)_2020.pdf](https://spi-vuz.ru/common/nauka/Vestnik_3(35)_2020.pdf) (дата обращения: 10.02.2025).
12. Lothane H. Freud's Civilization and Its Discontents and Related Works: A Reappraisal // Psychoanalytic Inquiry. 2012. Vol. 32, Is. 6. P. 524-542. DOI: 10.1080/07351690.2012.703601.
13. Маслоу А. Мотивация и личность. СПб.: Питер, 2022. 400 с. URL: <https://onlinelit.net/book/motivaciya-i-lichnost?ysclid=m54v5o1m5u675713781> (дата обращения: 10.02.2025).
14. Овчарова Р.В. Справочная книга социального педагога. М.: Сфера, 2005. 480 с.
15. Акоев А.Р., Малиева З.К. Проблемы социального здоровья студентов // Проблемы научной мысли. 2022. Т. 5, № 12. С. 52-57. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49887122> (дата обращения: 10.02.2025).
16. Байкова Л.А., Богомолова Е.В., Еременко Т.В. Социальное здоровье детей и молодежи в контексте педагогических исследований проблем развития современного образования // Актуальные педагогические проблемы современного образования в России. Рязань. 2018. С. 7-83. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32512306> (дата обращения: 10.02.2025).
17. Поднебесная Э.И. Социальное здоровье современной молодежи // Осознание Культуры – залог обновления общества. Перспективы развития современного общества. материалы XX Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 136-138. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38599871> (дата обращения: 10.02.2025).
18. Приступа Е.Н. Здоровье социальное. Российская энциклопедия социальной работы / под ред. Е.И. Холостовой. М.: Дашков и К, 2017. 1032 с. URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/355384/reading> . (дата обращения: 10.02.2025).
19. Антипина У.Д., Алексеева С.Н., Дмитриева О.Н. Влияние межличностных отношений студентов на формирование адаптивности // Мир науки, культуры, образования. 2024. № 4 (107). С. 227-230. DOI: 10.24412/1991-5497-2024-4107-227-230.
20. Кон И.С. Социологическая психология. Избранные психологические труды. М.: Московский психолого-социальный институт; Воронеж: МОДЭК, 1999. 554 с. URL: <https://www.livelib.ru/book/1000483506-sotsiologicheskaya-psihologiya-i-s-kon> (дата обращения: 10.02.2025).
21. Погорова Р.И. К вопросу о смысле содержания понятия "Социально-психологическая зрелость" // Высшее образование сегодня. 2016. № 5. С. 53-55. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26436044> (дата обращения: 10.02.2025).
22. Фиофанова О.А. Психология взросления и воспитательные практики нового поколения. М.: Флинта, 2024. 120 с. URL: https://www.phantastike.com/pedagogics/psyc_educational/html/ (дата обращения: 10.02.2025).
23. Байкова Л.А. Проблемы социального здоровья обучающихся в гетерогенных образовательных организациях в условиях широких миграционных процессов // Непрерывное образование. 2019. № 1 (27). С. 38-41. URL: <https://spbappo.ru/svedeniya-ob-obrazovatelnoy/osnovnyye-svedeniya/nauchnaya-deyatelnost/zhurnal-nepreryvnoye-obrazovaniye/> (дата обращения: 10.02.2025).
24. Шамионов Р.М. Соотношение социальной активности и удовлетворенности базовых психологических потребностей, субъективного благополучия и социальной фрустрированности молодежи // Сибирский психологический журнал. 2020. № 77. С. 176-195. DOI: 10.17223/17267080/77/9.
25. Заграничный А.И. Особенности проявления социальной активности молодежи в виртуальной и реальной средах // Общество: социология, психология, педагогика. 2019. № 4 (60). С. 95-98. DOI: 10.24158/spp.2019.4.16.
26. Кубанова А.К. Эмоциональные процессы и управление эмоциями // Власть истории и история власти. 2022. Т. 8, № 5 (39). С. 63-67. URL: <http://etnosocium.ru/vlast-istorii-istoriya-vlasti-tom-8-chast-5-№-39-2022> (дата обращения: 10.02.2025).
27. Мазкина О.Б. Развитие духовно-нравственных ценностей студентов вуза // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Проблемы высшего образования. 2020. № 3. С. 48-51. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/educ/2020/03/2020-03-11.pdf> (дата обращения: 10.02.2025).

УДК 371.48:371.1
DOI 10.17513/snt.40372

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОВЕТНИКА ДИРЕКТОРА ПО ВОСПИТАНИЮ С КЛАССНЫМИ РУКОВОДИТЕЛЯМИ: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Боярская Ю.В.

ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: iboiarskaia@sfedu.ru

Настоящее исследование направлено на анализ способов профессионального взаимодействия советников директоров по воспитанию с классными руководителями в контексте трансформации современных образовательных систем. В основу работы положены результаты эмпирического исследования, включающего анкетирование 687 представителей педагогического сообщества из 16 субъектов Российской Федерации. Методология объединила количественный анализ уровня удовлетворенности профессиональной деятельностью советников, оценку эффективности кооперации, а также идентификацию актуальных форм коммуникации между участниками образовательных отношений. В рамках исследования осуществлена систематизация успешных практик профессионального взаимодействия, базирующаяся на сопоставлении данных: стратифицированная выборка респондентов, контент-анализ открытых вопросов анкет и глубинное интервьюирование (советников по воспитанию и классных руководителей). В результате исследования сформулированы эффективные стратегии сотрудничества педагогов, такие как интеграция классных часов в систему ценностно ориентированного диалога, реализация проектного обучения как инструмента развития «мягких» навыков обучающихся, методическое обеспечение профессионального развития педагогов, формирование модели взаимодействия «педагог – обучающийся – родитель», создание доверительной коммуникативной среды, цифровая трансформация воспитательного процесса. Внедрение данных стратегий помогает создать оптимальную систему взаимодействия между классными руководителями и советниками директоров по воспитанию, что в свою очередь положительно сказывается на эффективности организации воспитательного процесса в образовательных организациях.

Ключевые слова: советник по директору воспитанию, классные руководители, воспитательный процесс

INTERACTION BETWEEN THE EDUCATIONAL ADVISOR TO THE PRINCIPAL AND CLASS TEACHERS: KEY ASPECTS AND PRACTICAL RECOMMENDATIONS

Boyarskaya Yu.V.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: iboiarskaia@sfedu.ru

This study aims to analyze the mechanisms of professional interaction between educational advisors to school principals and class teachers within the context of transforming modern educational systems. The research is based on empirical data collected through a survey of 687 representatives of the educational community from 16 regions of the Russian Federation. The methodology combines a quantitative analysis of the advisors' job satisfaction, an assessment of cooperation efficiency, and the identification of current communication formats among stakeholders in the educational process. The study systematizes successful practices of professional collaboration through a cross-validation of data, including stratified sampling of respondents, content analysis of open-ended survey questions, and in-depth interviews with educational advisors and class teachers. As a result, effective strategies for teacher collaboration have been formulated, such as: integrating class hours into a system of value-oriented dialogue, implementing project-based learning as a tool for developing students' soft skills, providing methodological support for teachers' professional development; Establishing a tripartite interaction model ("teacher-student-parent"), creating a trust-based communicative environment, digitalizing the educational process. The implementation of these strategies contributes to building an optimal framework for collaboration between class teachers and educational advisors, which in turn enhances the efficiency of organizing the educational process in schools. The findings may be applied to teacher training programs and institutional policies to foster systemic improvements in pedagogical practices.

Keywords: educational advisor to the principal, class teachers, educational process

Введение

Расширение границ воспитательной работы в школах и организациях среднего профессионального образования представляет собой стратегически значимый вектор развития современной системы образования, обусловленный трансформацией социально-культурных запросов общества и необходимостью формирования гармонично развитой личности в условиях глобальных вызовов. В контексте реализации национального проекта «Образование» [1] и Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» [2] актуализируется задача создания единого воспитательного пространства, интегрирующего формальные и неформальные практики, традиционные ценности и инновационные подходы.

нично развитой личности в условиях глобальных вызовов. В контексте реализации национального проекта «Образование» [1] и Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» [2] актуализируется задача создания единого воспитательного пространства, интегрирующего формальные и неформальные практики, традиционные ценности и инновационные подходы.

Современная воспитательная парадигма, как подчеркивается в работах А.В. Мудрика, Е.А. Никитской, и И.А. Зимней, предполагает переход от фрагментарных мероприятий к системной деятельности, охватывающей когнитивный, эмоциональный и социальный аспекты развития обучающихся [3; 4]. Однако ключевой проблемой остается недостаточная координация действий между субъектами воспитательного процесса: администрацией, педагогами, родителями и детскими общественными объединениями. Это приводит к дублированию функций и снижению результативности работы педагогов.

В данной системе координат институт советника директора по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными объединениями (далее советник по воспитанию) приобретает роль системообразующего элемента всей воспитательной системы. Его миссия заключается не только в методическом сопровождении воспитательных программ, но и в обеспечении синергии между участниками образовательных отношений. Особое значение приобретает взаимодействие советника по воспитанию с классными руководителями, которые, будучи непосредственными организаторами воспитательной деятельности на уровне класса, требуют ресурсной, информационной и психолого-педагогической поддержки.

Актуальность исследования определяется противоречием между декларируемой необходимостью интеграции воспитательных практик и недостаточной изученностью механизмов эффективного сотрудничества советников по воспитанию с классными руководителями.

Исследования в области деятельности классных руководителей в современной школе позволяют не только определить классного руководителя как педагога-наставника, сопровождающего индивидуальную траекторию развития ребенка, но и выявить те трудности и противоречия, с которыми сталкиваются классные руководители в своей деятельности (М.Н. Апиш, Л.А. Начарова [5], В.В. Николина, А.А. Лощилова, С.И. Аксёнов, Р.У. Арифулина, О.А. Катушенко [6], И.В. Лебедева, А.А. Лощилова [7]). В условиях новых вызовов, стоящих перед современной школой: цифровая трансформация образования, инклюзивное обучение, рост психологических нагрузок на детей, ключевая роль принадлежит классному руководителю. Сегодня он становится связующим звеном между обучающимися, родителями, педагогами и обществом, сочетая в себе функции менеджера, психолога и наставника. Классный руководитель форми-

рует среду, где обучающиеся учатся сотрудничать, уважать различия и брать ответственность, становится первым, кто замечает изменения в поведении ребёнка.

Советник по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными объединениями представляет собой специализированную педагогическую позицию, ориентированную на расширение социально-коммуникативного опыта обучающихся и формирование их гражданских компетенций. Введение данной должности в образовательных организациях обусловлено необходимостью реализации стратегических приоритетов современной педагогики: оптимизации качества обучения, усиления воспитательного компонента в образовательном процессе, а также системной работы по формированию гражданской идентичности, нравственных ориентиров и традиционных ценностных установок у детей и молодежи.

Ключевыми функциональными задачами советника по воспитанию являются: активизация деятельности детских общественных объединений через организацию проектно-событийной повестки, сопровождение федеральных инициатив, включая формирование проектных детско-юношеских коллективов для участия в общероссийских социально-значимых акциях, методическое сопровождение классных руководителей в интеграции обучающихся в конкурсные, просветительские и волонтерские программы, внедрение инновационных воспитательных технологий, основанных на принципах персонализации, цифровизации и сетевого взаимодействия.

Важным аспектом деятельности советника является выполнение роли медиатора между субъектами образовательной экосистемы: администрацией, педагогическим коллективом, родительским сообществом и институтами гражданского общества. Это обеспечивает синергию воспитательных практик, минимизацию дублирования функций и повышение эффективности ценностно ориентированных образовательных стратегий.

Основные подходы к методике и технологии деятельности советников директора по воспитанию рассматриваются в работах В.В. Николиной, А.А. Лощиловой [8], Е.М. Скрыпниковой [9], О.А. Лаврентьевой, Б.А. Дейч, З.И. Лаврентьевой [10]. М.М. Бетильмерзаева и И.В. Муханова исследуют вопросы компетенций советника директора по воспитанию, О.А. Лаврентьева рассматривает компетентностную модель деятельности советника директора по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными объединениями [11; 12].

Цель исследования – определить уровень взаимодействия между классными руководителями и советниками директора по воспитанию, выявить ключевые аспекты взаимодействия и разработать практические рекомендации по организации взаимодействия советника директора по воспитанию с классными руководителями.

Материалы и методы исследования

Первый этап исследования включал метод анкетирования и метод экспертных интервью, в 2024 г. изучено 687 анкет классных руководителей из 16 регионов, включая: Хабаровский край, Республика Бурятия; Пензенская область, Республика Татарстан; Ненецкий АО, Республика Карелия; Республика Северная Осетия – Алания, Ставропольский край; Иркутская область, Красноярский край; Свердловская область, Тюменская область; Воронежская область, Владимирская область; Краснодарский край, Ростовская область.

Были определены уровни удовлетворенности профессиональной деятельностью советников директора по воспитанию, эффективности взаимодействия, формы взаимодействия с участниками образовательных отношений.

Второй этап исследования включал в себя анализ и подбор форм и успешных стратегий взаимодействия советников директора по воспитанию с классными руководителями.

Результаты исследования и их обсуждение

Взаимодействие субъектов воспитательного процесса в современной образовательной организации является одним из ключевых вопросов. Одним из важных шагов для выстраивания взаимодействия является создание в образовательных организациях штабов воспитательной работы. Штаб воспитательной работы – это коллегиальный орган управления воспитательным процессом в образовательной организации. В состав штаба входят руководитель образовательной организации, заместитель директора по воспитательной работе, советник директора по воспитанию, педагог-психолог и другие специалисты, занимающиеся вопросами воспитания. Работа штаба воспитательной работы позволяет координировать воспитательную работу в школе и оперативно решать текущие задачи. Штаб воспитательной работы занимается не только планированием воспитательной работы, но и координирует деятельность школьного ученического самоуправления, детских общественных

объединений, функционирующих на базе образовательной организации и др. [13]. Отдельным направлением взаимодействия субъектов воспитательного процесса является взаимодействие с родительским сообществом. В процессе интервьюирования педагоги отмечали недостаточную информированность родителей о жизни школы и, как следствие, недостаточную включенность в воспитательный процесс. Сегодня «Взаимодействие с родителями» является инвариантным модулем рабочей программы воспитания. Советник по воспитанию совместно с заместителем директора по воспитательной работе и администрацией образовательной организации выявляет и формирует родительский актив, информирует родителей о воспитательных событиях школы, реализации федеральных проектов и программ, деятельности детских общественных объединений, консультирует классных руководителей по обновлению форматов взаимодействия с родительским сообществом. В образовательных организациях используются различные формы взаимодействия с родителями (индивидуальные, групповые). Создание Всероссийского родительского комитета, совместные детско-родительские мероприятия, создание родительских сообществ, ведение родительских чатов – всё это является важными решениями на пути выстраивания эффективной коммуникации с родительским сообществом [14; 15]. Сложная совместная деятельность советника по воспитанию с коллективом классных руководителей позволяет не только выстроить воспитательный процесс в образовательной организации в соответствии с современными тенденциями, но и сформировать взаимодействие всех субъектов воспитательного процесса. В данном исследовании автор сделал первый шаг в анализе того, как классные руководители в целом оценивают деятельность советников по воспитанию, с кем, на их взгляд, получается выстроить эффективное взаимодействие, какие формы взаимодействия являются наиболее эффективными.

Респондентами, принявшими участие в исследовании, стали педагоги начальной школы (39%); классные руководители основной школы (34%), классные руководители старшей школы (16%), кураторы групп среднего профессионального образования (10%). Отдельный интерес вызывает различие в оценках по территориальному признаку. Все данные были проранжированы в соответствии с местонахождением образовательной организации респондентов (столица региона, город, сельская местность).

Так, средний балл удовлетворенности профессиональной деятельностью советника директора по воспитанию в образовательных организациях, находящихся в столице региона, составил 9,5 баллов (максимальный балл – 10). В школах, которые находятся в городской местности, средний балл составил 9,3 балла (максимальный балл – 10). В образовательных организациях, которые находятся в сельской местности степень удовлетворенности деятельностью советника директора по воспитанию составила 9,0 баллов (максимальный балл – 10).

Эффективность взаимодействия между классными руководителями и советниками директора по воспитанию классные руководители оценили следующим образом: в школах, расположенных в столице региона, 9,5 баллов (максимальный балл – 10 баллов), в школах, находящихся в городской местности, средний балл составил 9,3 балла (максимальный балл – 10 баллов), в школах, расположенных в сельской местности – 8,9 балла (максимальный балл 10). Респонденты отметили, что наиболее эффективно советники директора по воспитанию взаимодействуют с обучающимися (90%), с педагогами (78%). Эффективное взаимодействие советников директора по воспитанию с родителями (законными представителями) обучающихся отметили только 49% респондентов.

Среди эффективных форм взаимодействия советников директора по воспитанию с субъектами образовательного процесса классные руководители выделили внешкольные мероприятия (74%), внеурочную деятельность (71%), социальные сети (64%), классные часы (62%). Менее эффективной формой взаимодействия, по мнению классных руководителей, являются родительские собрания (41%).

Данное исследование демонстрирует достаточно высокий уровень взаимодействия между советниками директора по воспитанию и классными руководителями. Тем не менее видна разница в оценке деятельности советников директора по воспитанию в школах, расположенных в городской и сельской местности, что свидетельствует о сложностях введения должности советника директора по воспитанию в небольших сельских школах, которые связаны с недостаточной кадровой укомплектованностью, слабым материально-техническим оснащением, недостаточной осведомленностью администраций образовательных организаций о целях и задачах проекта «Навигаторы детства». Респонденты также отметили, что испытывают сложности в выстраивании взаимодействия с родительским сообще-

ством; важно отметить, что сложности испытывают как советники по воспитанию, так и классные руководители.

В рамках исследования, основанного на проведении экспертных интервью с советниками директора по воспитанию и классными руководителями, были систематизированы ключевые методы оптимизации их профессионального взаимодействия. Выявленные стратегии структурированы следующим образом:

1. Совместное проектирование воспитательных мероприятий

Совместное планирование образовательно-воспитательных активностей, ориентированное на учет актуальных потребностей обучающихся, позволяет повысить качество воспитательных событий, привлечь к участию в событиях всех участников воспитательного процесса.

2. Интеграция классных часов в систему ценностно ориентированного диалога

Трансформация классных часов в интерактивную платформу для дискуссий, направленных на формирование мировоззренческих установок и этических ориентиров обучающихся, создает условия для конструктивной коммуникации между педагогами и обучающимися. Акцент смещается с организационных вопросов на рефлексию социально значимых тем.

3. Реализация проектного обучения как инструмента развития «мягких» навыков обучающихся

Внедрение проектно-исследовательской деятельности, координируемой советниками по воспитанию, способствует активизации критического мышления, креативности и самостоятельности обучающихся. Ключевыми элементами являются методическая поддержка педагогов, привлечение внешних ресурсов (социальных партнеров) и интеграция междисциплинарных связей.

4. Методическое обеспечение профессионального развития педагогов

Систематизация тренинговых программ, мастер-классов направлена на освоение классными руководителями инновационных воспитательных практик. Данный подход предполагает создание ресурсной базы для адаптации современных педагогических технологий.

5. Формирование модели взаимодействия «педагог – обучающийся – родитель»

Совместные воспитательные события с родительским сообществом способствуют консолидации воспитательных усилий школы и семьи. Эффективность модели подтверждается усилением коммуникативных связей и снижением уровня конфликтности в образовательной среде.

6. Создание доверительной коммуникативной среды

Установление психолого-педагогических условий для открытого диалога (конфиденциальные консультации, медиативные практики) идентифицируется как критически важный фактор успешности воспитательной работы. Данный аспект базируется на принципах гуманистической педагогики и личностно ориентированного подхода.

7. Цифровая трансформация воспитательного процесса

Внедрение цифровых инструментов помогает оптимизировать управление воспитательным процессом и обеспечивает прозрачность коммуникации с родителями, расширяя возможность дистанционного взаимодействия (вебинары, онлайн-проекты).

Данные стратегии позволяют создать эффективную систему взаимодействия между классными руководителями и советниками директоров по воспитанию, что в свою очередь положительно сказывается на воспитательном процессе в образовательных организациях.

Заключение

Взаимодействие советника директора по воспитанию с классными руководителями является системообразующим элементом современной образовательной среды. Реализация предложенных рекомендаций позволит не только выстроить единое воспитательное пространство в образовательной организации, но и укрепить связи между школой, семьей и социумом, повысить качество воспитательных событий. Эффективная кооперация классных руководителей и советников по воспитанию представляет собой не административно-распорядительную функцию, а стратегический механизм конструирования единого воспитательного пространства, направленного на интеграцию обучающихся в систему коллективных и социокультурных отношений. Синергия деятельности классных руководителей, реализующих непосредственное педагогическое сопровождение, со стратегическим проектированием воспитательных программ, входящим в компетенции советников по воспитанию, трансформирует образовательную организацию в платформу для реализации детских инициатив и воспитания гармонично развитой личности.

Список литературы

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2012. № 53. Ст. 7598. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/36698> (дата обращения: 15.02.2025).
2. Паспорт национального проекта «Образование» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по страте-

гическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16). [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/72192486/> (дата обращения: 15.02.2025).

3. Мудрик А.В., Никитская Е.А. Воспитание в контексте социализации человека: ретроспектива и педагогическая реальность // Образование. Наука. Научные кадры. 2021. № 2. С. 224-230. DOI: 10.24411/2073-3305-2021-2-224-230.

4. Зимняя И.А. Стратегия воспитания: возможности и реальность // Знание. Понимание. Умение. 2006. № 1. С. 67-74. URL: https://zpu-journal.ru/zpu/2006_1/Zimniaia/11.pdf (дата обращения: 15.02.2025).

5. Апиш М.Н., Начарова Л.А. Особенности организации разнообразных форм воспитательной работы // Символ науки. 2016. № 11-2. С. 86-89. URL: <https://os-russia.com/SBORNIKI/SN-2016-11-2.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).

6. Николина В.В., Лощилова А.А., Аксёнов С.И., Арифулина Р.У., Катушенко О.А. Критериальная база внутренней и внешней оценки эффективности деятельности классного руководителя // Перспективы науки и образования. 2021. № 5 (53). С. 569-590. DOI: 10.32744/pse.2021.5.39.

7. Лебедева И.В., Лощилова А.А. Модель профессионального профиля классного руководителя: форматы деятельности // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2021. № 3(3). С. 104-114. DOI: <https://doi.org/10.47370/2078-1024-2021-13-3-104-114> (дата обращения: 15.02.2025).

8. Николина В.В., Лощилова А.А. Критерии оценки эффективности воспитательной деятельности советника директора по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными объединениями // Вестник Мининского университета. 2024. Т. 12, № 4 (49). С. 6. DOI: 10.26795/2307-1281-2024-12-4-6.

9. Скрыпникова Е.М. Актуальные направления деятельности советника директора по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными объединениями // Вестник педагогических инноваций. 2023. № 3 (71). С. 90-101. DOI: 10.15293/1812-9463.2303.08.

10. Лаврентьева О.А., Скрыпникова Е.М., Дейч Б.А., Лаврентьева З.И. Деятельность советника директора по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными организациями: оценка ожиданий и потенциала совершенствования воспитательной работы с обучающимися // Science for Education Today. 2023. Т. 13, № 6. С. 7-29. DOI: 10.15293/2658-6762.2306.01.

11. Бетильмерзаева М.М., Мусханова И.В. Стратегический статус советника директора по воспитанию в современной школе: взгляд обучающихся и их родителей // Перспективы науки и образования. 2023. № 2 (62). С. 330-350. URL: <https://pnojournal.wordpress.com/2023/05/01/betilmerzaeva-3/> (дата обращения: 25.02.2025).

12. Лаврентьева О.А. Компетентностная модель деятельности советника директора по воспитанию и взаимодействию с детскими общественными объединениями // Социально-политические исследования. 2023. №3 (20). URL: https://spi.yspu.org/wp-content/uploads/sites/22/2023/11/SPI_2023-№3-110-124.pdf (дата обращения: 25.02.2025).

13. Горбачёв А.А., Чавыкина У.Г., Пикалов В.П. Педагогическая модель организации деятельности штаба воспитательной работы как социально-культурного феномена // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 58-3. С. 86-89 URL: <https://gpa.cfuv.ru/attachments/article/3840/Выпуск%2058,%20часть%203,%202018%20гг.pdf> (дата обращения: 25.02.2025).

14. Коротаева Е.В., Андрюнина А.С., Чугаева И.Г. Диалогическое взаимодействие семьи и школы: содержательный аспект // Образование и наука. 2023. № 3. DOI: 10.17853/1994-5639-2023-3-97-121.

15. Андреева Е.Е. Дефициты и перспективные направления партнерства школы и семьи: результаты прикладного исследования // Педагогическое образование в России. 2024. № 1. С. 8-20. URL: <https://pedobrazovanie.ru/archive/2024/1/defitsity-i-perspektivnye-napravleniya-partnerstva-shkoly-i-semi-rezultaty-prikladnogo-issledovaniya> (дата обращения: 25.02.2025).

УДК 373.31
DOI 10.17513/snt.40373

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УМЕНИЙ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ СРЕДСТВАМИ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭТНОКУЛЬТУРНЫХ ТРАДИЦИЙ

Иванова А.В., Нестерева Н.А.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: afgust1945@gmail.ru, n.nestereva@mail.ru

Актуальность формирования исследовательских умений у младших школьников обусловлена необходимостью развития самостоятельности, познавательной активности и критического мышления с раннего возраста. Использование педагогического потенциала этнокультурных традиций способствует не только эффективному освоению навыков исследовательской деятельности, но и формированию уважения к культурному наследию, укреплению национальной идентичности и духовно-нравственных ценностей учащихся. Целью исследования является разработка и экспериментальная проверка эффективности технологии формирования исследовательских умений младших школьников на основе педагогического потенциала этнокультурных традиций. Методологической базой исследования выступили личностно-ориентированный, деятельностный и системно-интегративный подходы, предполагающие активное вовлечение учащихся в учебно-исследовательскую деятельность. В представленном экспериментальном исследовании приняли участие 85 обучающихся начальных классов. Опытнo-экспериментальная работа осуществлялась поэтапно и включала три последовательных этапа: мотивационно-ценностный, деятельностно-практический и рефлексивно-презентационный. Методологическая база исследования включала совокупность современных образовательных технологий и научных методов, среди которых: метод проектов (проектное обучение) – как способ организации самостоятельной деятельности обучающихся; проблемный метод обучения, направленный на формирование навыков анализа и решения задач; исследовательский метод, ориентированный на глубокое изучение объекта исследования; игровые дидактические методы, повышающие вовлеченность и интерес к предмету; кейс-метод (метод конкретных ситуаций), способствующий развитию аналитического и критического мышления. Результаты проведенного анализа подтвердили, что интеграция этнокультурных элементов в образовательный процесс положительно влияет на мотивацию младших школьников к познавательной деятельности, развитие инициативности, критического мышления, навыков самостоятельного поиска, анализа и обобщения информации. Экспериментальные данные показали, что использование народных практик, традиционных рассказов, образцов народного творчества и ремесел облегчает учащимся овладение методами исследовательской работы и эффективно развивает у них умения наблюдать, систематизировать и интерпретировать полученные данные.

Ключевые слова: технология, формирование, исследовательские умения, младшие школьники, этнокультура, традиции, методы

TECHNOLOGY FOR THE FORMATION OF RESEARCH SKILLS IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS THROUGH THE PEDAGOGICAL POTENTIAL OF ETHNOCULTURAL TRADITIONS

Ivanova A.V., Nestereva N.A.

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk,
e-mail: afgust1945@gmail.ru, n.nestereva@mail.ru

The relevance of developing research skills in primary school students is determined by the need to foster independence, cognitive activity, and critical thinking from an early age. Utilizing the pedagogical potential of ethnocultural traditions contributes not only to the effective acquisition of research skills, but also to the formation of respect for cultural heritage, strengthening of national identity, and spiritual-moral values of students. The purpose of this study is to develop and experimentally test the effectiveness of a technology for forming research skills in primary school students based on the pedagogical potential of ethnocultural traditions. The methodological foundation of the study is built on student-centered, activity-based, and system-integrative approaches, which imply active involvement of students in educational-research activities. 85 primary school students participated in the presented experimental study. The experimental work was carried out in stages and included three consecutive phases: motivational-value, activity-practical, and reflective-presentational. The methodological framework of the study encompassed a combination of modern educational technologies and scientific methods, including: project-based learning (as a way to organize students' independent activity); problem-based learning, aimed at developing problem analysis and solving skills; research method, focused on in-depth study of the research object; game-based didactic methods, enhancing engagement and interest in the subject; and case-study method (method of specific situations), promoting the development of analytical and critical thinking. The results of the analysis confirmed that the integration of ethnocultural elements into the educational process positively affects primary school students' motivation for cognitive activity, development of initiative, critical thinking, and skills of independent search, analysis, and synthesis of information. Experimental data showed that the use of folk practices, traditional stories, examples of folk art and crafts makes it easier for students to master research methods and effectively develops their ability to observe, systematize, and interpret the obtained data.

Keywords: technology, formation, research skills, primary school students, ethno-culture, traditions, methods

Введение

Согласно федеральному государственному образовательному стандарту начального образования, приоритетным направлением деятельности современной школы выступает всестороннее развитие личности обучающихся, формирование у них универсальных способов учебной деятельности, развитие теоретического мышления и исследовательских умений [1]. Вопросы, связанные с формированием у младших школьников интереса к исследованиям и организацией их исследовательской деятельности в рамках урочных и внеурочных форм работы через использование исследовательского подхода, становятся особенно значимыми и во многом соответствуют актуальным направлениям развития современного образования [2]. В этом контексте важно отметить, что исследование как вид деятельности младших школьников выступает важным элементом познавательного процесса. Она не просто обогащает детей новыми знаниями, но и развивает ключевую компетенцию – «умение учиться», в основе которого лежит навык самостоятельного поиска информации. Когда ученики начальных классов занимаются исследованиями, они осваивают весь цикл работы с информацией: поиск, анализ и обобщение данных для решения задач, поставленных педагогом [3]. В свою очередь, успешное развитие таких умений требует не только создания мотивирующей среды, но и систематического подхода к оценке и поддержке этого процесса. В частности, формирование исследовательских умений обучающегося начальной школы нуждается в систематическом определении уровня развития исследовательских умений для своевременного оказания необходимой помощи и создания должных условий для развития таких умений [4].

Приобщение младших школьников к этнокультурным традициям народов России также требует сформированности определенного ряда исследовательских умений, в частности способности к поддержанию диалога на тему этнокультурных традиций, понимания содержательных компонентов осваиваемого материала, включая умение отделять ключевую информацию от второстепенной, готовности активно демонстрировать культурные традиции своего народа. По мнению М.Б. Богуса, приобщение молодежи к национальной культуре является одним из наиболее актуальных педагогических вопросов современности. Это связано с тем, что каждый народ заинтересован в сохранении своей исторической национальной идентичности и передаче ее будущим

поколениям, а не просто в сохранении сложившихся за историю воспитательных обычаев и особенностей [5]. Этнокультурный компонент в рамках образовательного процесса понимается как систематизированное использование элементов культурного наследия, традиционных практик, фольклора и обрядов, приобретших историческую и культурную значимость для конкретного сообщества. Внедрение средств педагогического потенциала этнокультурных традиций в образовательный процесс означает не только сохранение культурного наследия, но и открытие новых возможностей для развития исследовательских умений обучающихся и их адаптации к быстроменяющемуся миру.

В контексте актуализации работ исследователей, направленных на уточнение особенностей технологий формирования исследовательских умений у младших школьников, можно отметить следующее: современные подходы подчеркивают важность практико-ориентированных методик, учитывающих возрастные когнитивные особенности детей, поэтапное формирование исследовательских навыков, классификации и анализа данных, а также создание образовательной среды, стимулирующей естественную любознательность и самостоятельность мышления. В.В. Осипов, Т.В. Бугаева акцентируют важность целенаправленного и систематического подхода к формированию исследовательских умений у младших школьников. Такой подход предполагает использование специальных педагогических технологий, которые обеспечивают последовательное и планомерное развитие исследовательских навыков и умений [6]. Л.В. Руслина, М.Г. Заббарова отмечают необходимость специальной организации учебного процесса, направленной на формирование исследовательской деятельности и исследовательских умений, включающую в себя разработку специальных заданий, средств и условий [7]. Исследователи А.М. Каблан, Т. Де Баз подчеркивают, что эффективность развития исследовательских умений зависит от профессиональной подготовки учителей, наличия необходимых ресурсов, применения соответствующих педагогических стратегий, регулярной практики исследовательской деятельности [8]. К. Остерхаус, А.С. Брэндон акцентируют внимание на том, что формирование научного мышления – это постепенный процесс, требующий создания специальных условий и контекстов, способствующих развитию исследовательских умений с учетом возрастных особенностей детей [9]. В целом в исследованиях подчер-

кивается важность комплексного подхода к формированию исследовательских умений у младших школьников, что включает в себя целенаправленность, систематичность, специальную организацию учебного процесса, использование эффективных технологий для развития исследовательских умений.

Цель исследования – разработать и экспериментально подтвердить эффективность технологии, основанной на использовании средств педагогического потенциала этнокультурных традиций для формирования исследовательских умений младших школьников.

Материалы и методы исследования

В основу исследования положен комплекс теоретических и эмпирических методов, направленных на внедрение технологий формирования исследовательских умений младших школьников с использованием средств педагогического потенциала этнокультурных традиций.

В исследовании, осуществленном в период с 2021 по 2024 г., приняли участие 85 обучающихся начальных классов МБОУ «Сыланская СОШ имени профессора Г.П. Башарина» и МБОУ «Кытанахская СОШ имени В.С. Яковлева» Чурапчинского улуса Республики Саха (Якутия). Для реализации целей исследования участники были разделены на две группы: контрольную и экспериментальную. В контрольную группу вошли 37 учеников, обучение которых осуществлялось по традиционной методике. Экспериментальная группа, в свою очередь, включала 48 обучающихся, в образовательном процессе которых применялись разработанные в рамках исследования подходы, направленные на формирование исследовательских умений и организацию деятельности исследовательского характера.

На констатирующем (2021–2022 учебный год) этапе в исследовании приняли участие обе группы. На этом этапе проводилась первичная диагностика уровня сформированности исследовательских умений у обучающихся. Основной целью было выявить исходный уровень и состояние исследуемых параметров до введения новых подходов к образовательному процессу. На формирующем этапе (2022–2023 и 2023–2024 учебные годы) экспериментальная группа включалась в специально разработанный образовательный процесс, ориентированный на формирование исследовательских умений через организацию исследовательской деятельности средствами педагогического потенциала этнокультурных традиций. Контрольная группа продолжала обучение по традиционной методике. Заключитель-

ный контрольный этап (2024 г.) исследования заключался в проведении повторного диагностического измерения для обеих групп обучающихся. На данном этапе сравнивались показатели, полученные после применения экспериментальных подходов, с начальными результатами, чтобы определить эффективность внедренной технологии и степень сформированности исследовательских умений у учащихся экспериментальной группы по сравнению с контрольной.

Для определения сформированности исследовательских умений был подобран диагностический инструментарий по методике Н.Н. Семеновой: 1) опросник для определения уровня мотивации учащихся по отношению к исследовательской деятельности, выявляющий основные мотивы, побуждающие к исследовательской деятельности; 2) опросник для оценки практической готовности учащихся к исследовательской деятельности, определяющий основные умения, используемые в исследовательской деятельности; 3) опросник для оценивания уровня проявления креативности в учебном исследовании, раскрывающий творческий подход учащихся в исследовательской деятельности; 4) опросник на определение уровня самостоятельности учащихся при выполнении исследовательской работы [10, с. 183–196].

Технология формирования исследовательских умений младших школьников в контексте этнокультурных традиций реализована с позиции следующих методологических подходов: личностно-ориентированный подход, предполагающий учет индивидуальных особенностей и интересов каждого ребенка в процессе освоения исследовательских действий посредством этнокультурного материала [11]; деятельностный подход, обеспечивающий активное вовлечение младших школьников в самостоятельную поисково-исследовательскую деятельность [12]; системно-интегративный подход, направленный на объединение педагогического потенциала этнокультурных традиций и исследовательских умений обучающихся в единый эффективный образовательный процесс [13].

Методологическая база исследования включала совокупность современных образовательных технологий и научных методов, среди которых: метод проектов (проектное обучение) – как способ организации самостоятельной деятельности обучающихся [14]; проблемный метод обучения, направленный на формирование навыков анализа и решения задач; исследовательский метод, ориентированный на глубокое изучение объекта исследования; игровые

дидактические методы, повышающие вовлеченность и интерес к исследованию; кейс-метод (метод конкретных ситуаций), способствующий развитию аналитического и критического мышления [15, с. 51–54].

Учителями начальных классов осуществлялось систематическое наблюдение за процессом выполнения исследовательских заданий. Наблюдение позволило выявить у детей уровень вовлеченности, заинтересованности и самостоятельности в решении исследовательских задач с использованием этнокультурного материала.

Технологический процесс формирования исследовательских умений с использованием педагогического потенциала этнокультурных традиций проводился в виде следующих последовательных этапов.

Первый этап – мотивационно-ценностный. Его основная задача заключалась в пробуждении интереса обучающихся к этнокультурному наследию и пониманию его роли в освоении исследовательских навыков. Педагоги создавали условия для знакомства детей с ключевыми традициями своего народа, их историей, ценностями и значимостью в современном мире. Целью данного этапа было формирование устойчивой мотивации и заложение основы для последующего развития исследовательских умений через призму этнокультурного материала. Деятельность педагога включала организацию, руководство, методическое и эмоциональное сопровождение детских исследований. Акцент делался не только на овладении способами исследовательской работы, но и на воспитании уважительного отношения к культурному наследию – как своему, так и других народов.

Второй этап – деятельностно-практический. На этой ступени внимание уделялось развитию практических исследовательских умений младших школьников. Ключевым было формирование их способности к самостоятельному поиску, анализу и интерпретации информации об этнокультурных традициях, а также применению этих навыков в различных исследовательских задачах. Этап был направлен на углубление понимания этнокультурного наследия и развитие исследовательской культуры у детей. Мероприятия и методы способствовали формированию базовых исследовательских действий: формулировать вопросы, проводить наблюдения, осваивать методы сбора информации, а также обрабатывать и интерпретировать данные.

Третий этап – рефлексивно-презентационный. Он предполагал публичное представление и обсуждение полученных детьми результатов в атмосфере уважения

к культурному наследию и искреннего интереса. Внимание уделялось не только демонстрации итогов исследования, но и созданию особой среды, где знания об этнокультурных традициях воплощались в наглядных формах. Это помогало учащимся осознанно закреплять исследовательские навыки, развивать интерес к региональной культуре и расширять кругозор в области народного творчества. Кроме того, данная фаза способствовала развитию коммуникативных навыков, уверенности в себе, умения аргументировать свою точку зрения и презентовать работу содержательно и интересно, используя при этом богатство этнокультурного наследия.

Результаты исследования и их обсуждение

Эффективность технологии формирования исследовательских умений средствами педагогического потенциала этнокультурных традиций подтверждается результатами опытно-экспериментальной работы. По результатам исследования в экспериментальной группе наблюдается положительная динамика в формировании исследовательских умений: если на констатирующем этапе только 39,5% участников (19 чел.) демонстрировали начальный уровень, то на контрольном этапе этот показатель вырос до 56,3% (27 чел.). В ходе эксперимента дети данной группы в целом демонстрировали заинтересованность в исследовательской деятельности, активно участвовали в выборе темы проектной работы, с энтузиазмом приступали к выполнению поставленных задач. Однако в процессе реализации исследовательской деятельности у них начинались проявляться признаки утомления, снижения мотивации, желание упростить поставленную задачу и пр. При этом наиболее выраженные затруднения наблюдались на этапах планирования, сбора и анализа данных, оформления и представления результатов исследования. Вместе с тем в условиях заинтересованного участия педагога и наличия адекватной стимулирующей помощи младшие школьники с начальным уровнем сформированности исследовательских умений все же справлялись с поставленной проектной задачей и достигали желаемых результатов.

Продуктивный уровень владения исследовательскими умениями наблюдается у 18,75% школьников (9 чел.), а креативный уровень достигнут у 8,3% (4 чел.), что демонстрирует заметное продвижение в развитии исследовательских умений. Эти дети отличались более высоким, осознанным и устойчивым познавательным интересом,

были в состоянии не только планировать исследовательскую деятельность, но и следовать намеченному плану, владели навыками текстового и графического оформления полученных результатов, включая использование компьютерных технологий. Даже если на определенных этапах исследовательской деятельности данным школьникам требовалась некоторая помощь педагога, они, как правило, стремились не использовать подсказки в готовом виде, а преобразовывали их в соответствии с собственным видением ситуации.

Исходный уровень сформированности исследовательских умений показали на контрольном этапе 16,67% учащихся (8 чел.), это на 29% (14 чел.) меньше, чем на констатирующем этапе. Младшие школьники данной подгруппы в подавляющем большинстве случаев показали неспособность эффективно реализовать ни один из этапов исследовательской деятельности. Помимо всего прочего, они показали крайне низкую исследовательскую активность, отсутствие волевого усилия и какой-либо мотивации. На предложение педагога решить определенную (далеко не самую сложную) исследовательскую задачу эти дети, как правило, реагировали формулировками наподобие «а для чего мне это нужно?», «и так много задают», «у меня кружки, секции» и т.п. Оказываемая педагогом стимулирующая помощь зачастую воспринималась ими как психологическое давление или навязчивый контроль, что в итоге еще больше снижало мотивацию к исследовательской деятельности. Вместе с тем, при условии достаточной сформированности у этих детей коммуникативных навыков, их все же удавалось вовлечь в исследовательскую деятельность путем работы в малых группах, где ребятам с исходным уровнем исследовательских умений как бы ненавязчиво предлагались второстепенные задачи, не требующие значительных волевых и интеллектуальных усилий, например принести из дома реквизит, поучаствовать в оформлении помещения и пр.

У подавляющего большинства участников исследования затруднения в реализации исследовательской деятельности начинаются с этапа планирования. Если этап постановки исследовательской задачи затрагивает преимущественно мотивационный компонент, а выдвижение гипотезы – интеллектуальный, то на этапе планирования деятельности неизбежно актуализируются волевые составляющие личности и навыки саморегуляции. Как известно, у современных младших школьников отмечается устойчивое снижение эмоционально-во-

левой деятельности и поведения, что соответствующим образом сказывается на формировании их исследовательских умений. При этом многие школьники испытывали затруднения не столько в составлении плана исследовательской деятельности, сколько в его реализации. Например, обучающийся запланировал изготовление макета национальных предметов обихода, однако в момент сдачи работы выясняется, что он забыл, не успел, по семейным обстоятельствам не смог выполнить данное задание и пр. Для предотвращения подобных ситуаций учителя предлагали использовать настенный календарь исследовательской деятельности с напоминаниями о сроках сдачи каждого этапа. Также были назначены для недостаточно мотивированных обучающихся помощники, которые при необходимости помогали своему товарищу справиться с заданием. Помимо повышения качества исследовательской деятельности такой подход способствовал развитию навыков сотрудничества и взаимной поддержки.

На этапе сбора информации практически все обучающиеся использовали интернет-ресурсы, что часто проявлялось в недостаточно осознанном копировании данных, включая информацию, не относящуюся к теме исследования. Регулярно проводились мероприятия, направленные на вовлечение детей в изучение и практическое использование материалов художественных произведений, справочных изданий, энциклопедий и других источников.

Наблюдаемые проблемы презентации результатов исследования были связаны с недостаточным уровнем развития монологической речи младших школьников. В ряде случаев в речи детей наблюдалось большое количество аграмматизмов, искажения синтаксических конструкций, неправильное употребление союзов и предлогов и т.д. В подобных ситуациях педагог проводил дополнительную работу по развитию речи детей.

В целом следует отметить, что практически все принявшие участие в исследовании младшие школьники с искренним интересом и достаточной мотивацией включались в задания, не предполагающие значительного волевого усилия и значительной нагрузки. Они охотно откликались на предложение поиграть в фольклорные игры, с удовольствием посещали мастер-классы, экскурсии, викторины и тренинги, посвященные теме этнокультурных традиций. Перечисленные формы внеурочной деятельности должны максимально активно использоваться педагогом в целях приобщения младших школьников к культурному наследию.

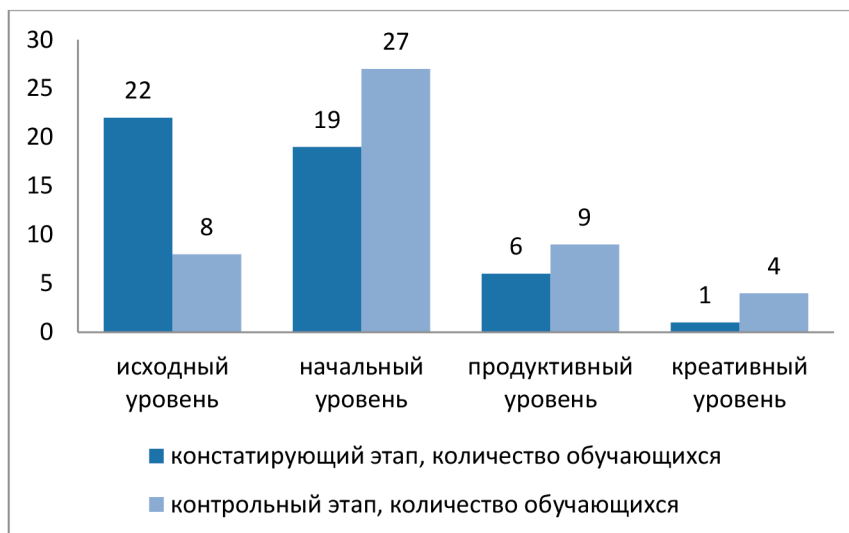


Рис. 1. Динамика уровней сформированности исследовательских умений младших школьников в экспериментальной группе
Источник: составлено авторами

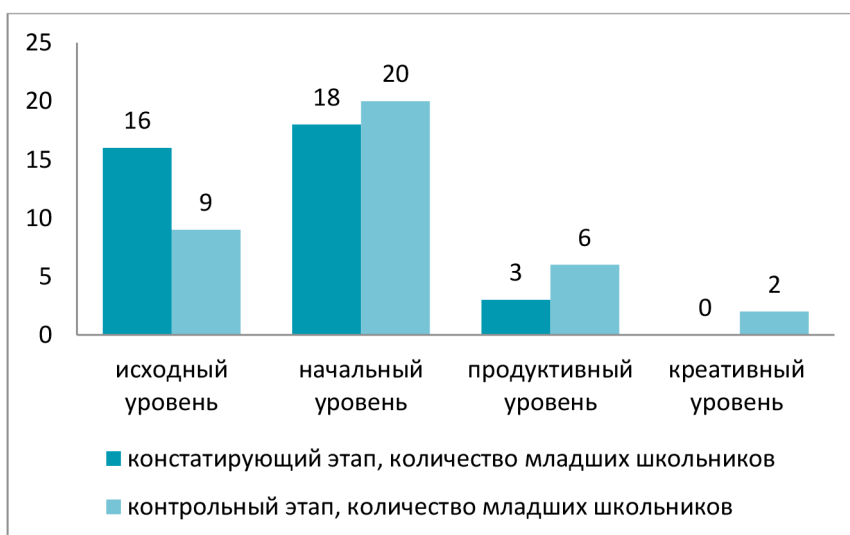


Рис. 2. Динамика уровней сформированности исследовательских умений младших школьников в контрольной группе
Источник: составлено авторами

Таким образом, результаты исследования (рис. 1) показали положительную динамику развития исследовательских умений у младших школьников. В контрольной группе (рис. 2), где экспериментальное воздействие отсутствовало, наблюдается незначительный естественный прирост этих умений. Полученные данные свидетельствуют об эффективности использования педагогического потенциала этнокультурных традиций для формирования исследовательских умений у младших школьников.

Заключение

В ходе проведенного исследования была разработана и экспериментально подтверждена эффективность технологии, основанной на использовании средств педагогического потенциала этнокультурных традиций. Проведенный анализ показал, что интеграция этнокультурных элементов в образовательный процесс способствует повышению интереса учащихся к познавательной деятельности, развитию инициативности, критического мышления и навыков самостоятельного поиска, анали-

за и обобщения информации. Экспериментальные данные подтвердили, что использование традиционных народных практик, рассказов, образцов народного творчества и ремесел в учебной деятельности помогает детям легче усваивать методы исследовательской работы, формирует у них навыки наблюдения, систематизации и интерпретации данных.

Результаты исследования также показали, что включение этнокультурных компонентов в учебный процесс способствует развитию у младших школьников толерантности, уважения к культурному наследию, формированию познавательной активности и мотивации к обучению. Применение данной технологии позволяет сделать процесс обучения более увлекательным и содержательным, а также способствует формированию устойчивого интереса к науке и исследовательской деятельности с ранних лет.

На основании полученных данных можно сделать вывод о значимости и перспективности использования этнокультурных традиций в качестве эффективного ресурса для развития исследовательских умений младших школьников.

Список литературы

1. Приказ Министерства просвещения РФ от 31 мая 2021 г. № 286 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта начального общего образования» (с изм. и доп. 18 июля, 8 ноября 2022 г., 22 января 2024 г.) [Электронный ресурс]. URL: <https://ivo.garant.ru/#/document/400907193/paragraph/1:0> (дата обращения: 20.02.2025).
2. Головнева Е.В., Фатыхова А.Л., Рабаданова Р.С., Синдикова Г.М. К проблеме реализации технологий проектного обучения и организации исследовательской деятельности младших школьников // Вестник РМАТ. 2020. № 4. С. 77–85. URL: <https://rmat.ru/wyswyg/file/about/vestnik/2020/2020-4.pdf#page=77> (дата обращения: 26.01.2025).
3. Алферьева-Термсинос В.Б. Технология case-study как способ организации исследовательской деятельности младших школьников // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 3–1 (66). С. 15–17. URL: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2022/04/Alfereva2.pdf> (дата обращения: 26.02.2025). DOI: 10.24412/2500-1000-2022-3-1-15-17.
4. Асадулаева Ф.Р., Мамиева З.М., Мусаева М.С.-М. Формирование исследовательских умений обучающихся начальной школы во внеурочной деятельности // Проблемы современного педагогического образования. 2021. № 73–1. С. 26–29. URL: <https://gpa.cfuv.ru/attachments/article/5323/Выпуск%2073%20часть%201,%202021%20год.pdf> (дата обращения: 02.02.2025).
5. Богус М.Б. Этнокультурные технологии в формировании этнической идентичности младших школьников // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 9–2 (99). С. 94–97. URL: <https://research-journal.org/archive/9-99-2020-september/etnokulturnye-texnologii-v-formirovanii-etnicheskoj-identichnosti-mladshix-shkolnikov> (дата обращения: 12.02.2025). DOI: 10.23670/IRJ.2020.99.9.055.
6. Осипов В.В., Бугаева Т.П. Интегративный подход в формировании компетенций в образовательном процессе // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 1. С. 140–144. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36571> (дата обращения: 02.02.2025).
7. Руслина Л.В., Заббарова М.Г. Технологии формирования исследовательских умений учащихся начальных классов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 2–1 (77). С. 146. URL: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2023/03/Mezhdunarodnyj-Zhurnal-2-1.pdf#page=147> (дата обращения: 17.02.2025). DOI: 10.24412/2500-1000-2023-2-1-146-148.
8. Каблан А.М., Де Баз Т. Содействие внедрению учителями начальных классов научного обучения на основе исследовательского подхода // Развитие учителей. 2015. № 19 (1). DOI: 10.1080/13664530.2014.959552.
9. Остерхаус К., Брэндон А.С., Восниаду С., Николопулу А. Редакционная статья: Возникновение и развитие научного мышления в ранние годы: основные процессы и поддерживающие контексты // Границы психологии. Февраль 2021. № 12. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.629384.
10. Семенова Н.А. Формирование исследовательских умений младших школьников: дис. ... канд. пед. наук. Томск, 2007. 203 с.
11. Рожин Д.В., Дмитриева С.Н. Личностно-ориентированный подход в обучении // Концепт. 2017. Т. 32. С. 122–123. URL: <http://e-koncept.ru/2017/771036.htm> (дата обращения: 20.02.2025).
12. Сергеева Б.В., Дзюба М.В. Реализация деятельностного подхода на уроках в начальной школе // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=25811> (дата обращения: 02.02.2025).
13. Игошина Н.В. Некоторые методологические особенности организации исследовательской деятельности младших школьников в специально подготовленной саморазвивающей среде // Проблемы современного педагогического образования. 2021. № 73–1. С. 153–156. URL: <https://gpa.cfuv.ru/attachments/article/5323/Выпуск%2073%20часть%201,%202021%20год.pdf> (дата обращения: 20.02.2025).
14. Жмаев И.Ю. Применение метода проектов в условиях онлайн-обучения // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 90. С. 47–50. DOI: 10.18411/trnio-10-2022-13.
15. Сандалова Н.Н. Педагогические условия формирования исследовательских умений у младших школьников в урочной и внеурочной деятельности: дис. ... канд. пед. наук. Уфа, 2016. 230 с.

УДК 378.14
DOI 10.17513/snt.40374

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ УСПЕШНОГО ОБУЧЕНИЯ

Князев А.Г., Байгушева И.А., Пугина Н.Н.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева»,
Астрахань, e-mail: agkniazev@mail.ru, iabai@mail.ru, astra8512@mail.ru

Целью исследования является разработка методики оценки эффективности основных профессиональных образовательных программ на основе вероятностей успешного обучения. При этом обучение считается успешным, если обучающиеся по образовательной программе получили по всем дисциплинам учебного плана оценки, превышающие заданный уровень. В качестве материалов данного исследования использованы результаты промежуточной аттестации обучающихся по всем дисциплинам учебного плана одной образовательной программы. Методами исследования выступают сравнительно-сопоставительный анализ научной литературы по проблеме исследования, статистические методы построения моделей совместного распределения случайных величин, программирование на языке R. Авторская методика оценки эффективности образовательной программы предполагает последовательное выполнение следующих этапов: преобразование исходных данных в случайные величины; построение моделей бета-распределений одномерных случайных величин с оценкой их параметров и проверкой на адекватность; построение моделей двумерных случайных величин с использованием копул Гамбела–Хаугарда; построение и оценка иерархической копулярной модели многомерного совместного распределения случайных величин; вычисление вероятностей успешного обучения по образовательной программе. Практическая значимость исследования состоит в том, что разработанная методика может быть применена заинтересованными участниками образовательной системы для сравнения образовательных программ родственных направлений подготовки по их эффективности.

Ключевые слова: эффективность образовательной программы, копула Гамбела–Хаугарда, иерархическая копулярная модель, вероятность успешного обучения

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE MAIN PROFESSIONAL EDUCATIONAL PROGRAMS BASED ON THE PROBABILITIES OF SUCCESSFUL TRAINING

Knyazev A.G., Baygusheva I.A., Pugina N.N.

Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan,
e-mail: agkniazev@mail.ru, iabai@mail.ru, astra8512@mail.ru

The purpose of the study is to develop a methodology for assessing the effectiveness of basic professional educational programs based on the probabilities of successful training. At the same time, training is considered successful if students in the educational program have received grades in all disciplines of the curriculum that exceed the specified level. As materials of this study, the results of intermediate certification of students in all disciplines of the curriculum of one educational program were used. Research methods include a comparative analysis of the scientific literature on the research problem, statistical methods for building models of the joint distribution of random variables, programming in the R language. The author's methodology for assessing the effectiveness of the educational program involves the sequential implementation of the following stages: conversion of the initial data into random variables; construction of models of beta distributions of univariate random variables with evaluation of their parameters and testing for adequacy; building models of two-dimensional random variables using Gumbel–Haugard copulas; construction and evaluation of a hierarchical copular model of multivariate joint distribution of random variables; calculation of probabilities of successful training in the educational program. The practical significance of the study is that the developed methodology can be applied by interested participants in the educational system to compare educational programs of related areas of training on their effectiveness.

Keywords: effectiveness of educational program, Gumbel-Hougaard copula, hierarchical copular model, probability of successful training

Введение

Подготовка квалифицированных кадров является стратегической целью государственной политики в области российского высшего образования, достижение которой определяет технологический и экономический суверенитет страны. Министерство науки и высшего образования России в качестве одной из перспективных задач на сред-

несрочный период рассматривает обеспечение доступности высшего образования [1, с. 178]. Для вузов решение этой задачи предполагает, в частности, сохранение контингента студентов за счет повышения успешности их обучения. Это позволит не только повысить качество подготовки специалистов, но и обеспечить стабильное финансирование образовательной организации.

В связи с этим является актуальной проблема оценки эффективности основных профессиональных образовательных программ (ОПОП), основанная на прогнозировании успешности обучения студентов. Анализ литературы показал, что обозначенная проблема является важной не только в России, но и за рубежом. Несмотря на довольно обширный опыт по созданию прогностических систем в иностранных университетах (Висконсинский университет (США), университет Пердью (США), Миланский политехнический университет (Италия), Мадридский университет UDI-MA (Испания) и др.), следует согласиться, что прямое заимствование зарубежного опыта учебной аналитики нецелесообразно за счет существенных отличий российской системы образования [2].

Немногочисленные исследования российских ученых в области научного прогнозирования успешности обучения отличаются подходами к выбору предмета и методов исследования. При этом понятие «успешность обучения» в исследованиях, основанных на применении количественных методов, трактуется по-разному. Во всех проанализированных источниках определения данного понятия связаны с академической успеваемостью студентов: успешность обучения как положительная итоговая оценка по определенной учебной дисциплине [3], доля успешно сдавших сессию обучающихся [4], обучение, демонстрирующее положительную динамику успеваемости по совокупности учебных дисциплин [5].

При построении прогностических моделей успешности обучения, как правило, исследователи используют данные образовательного профиля обучающегося на платформе электронного обучения вуза. При этом применяются различные методы моделирования. В исследовании Р.В. Есина и соавторов используются дерево решений и моделирование на основе логистической регрессии [2]. Г.П. Озерова, Г.Ф. Павленко использовали методы машинного обучения [6]. М.В. Носков с соавторами и С.В. Помян с соавторами построили прогностические модели на основе марковских процессов [7, 8]. В исследовании С.В. Щербина и соавторов применяются методы кластерного и регрессионного анализа [9]. В исследовании В.И. Токтаровой и соавторов построение моделей осуществляется с использованием технологий искусственного интеллекта [10].

Успешность освоения ОПОП зависит не только от обучающихся, но и от содержания и условий реализации программы. В исследовании А.Н. Сергеева эффективность реализации ОПОП понимается как показа-

тель, отражающий количество привлекаемых ресурсов для полноценной реализации всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом [11]. В исследовании Т.В. Зыковой и соавторов представлена методика анализа учебного плана, позволяющая судить о качестве педагогического дизайна ОПОП с точки зрения достижения сформированности у обучающихся необходимых компетенций [12].

В условиях конкуренции вузов все субъекты системы образования должны иметь возможность оценить эффективность предлагаемых ОПОП, в том числе с точки зрения возможностей их успешного освоения.

Цель исследования – разработать методику оценки эффективности ОПОП на основе вероятностей успешного обучения. Под успешным обучением в настоящем исследовании понимается получение обучающимися положительных оценок, превышающих заданный уровень, по всем дисциплинам учебного плана ОПОП. Достижение поставленной цели предполагает последовательное решение следующих задач:

- преобразовать оценки (от 60 до 100 баллов) по учебным дисциплинам ОПОП в случайные величины, распределенные на отрезке [0;1];
- построить модели одномерных распределений, оценить их параметры и проверить адекватность;
- построить модели совместного распределения (для двумерных и многомерных случайных величин);
- вычислить вероятности успешного обучения на основе построенной модели.

Материалы и методы исследования

В работе был применен комплекс теоретических и эмпирических методов исследования. На основе сравнительно-сопоставительного анализа научной литературы были выявлены существующие подходы к решению проблемы прогнозирования успешности обучения и оценки эффективности образовательных программ. Для проведения эмпирического исследования были использованы данные промежуточной аттестации 22 студентов по всем дисциплинам учебного плана, обучавшихся одновременно в Астраханском государственном университете имени В.Н. Татищева по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки «Математика и информатика») с 2019 по 2024 гг. По этим данным была построена модель совместного распределения успеваемости по всем дисциплинам образовательной программы с применением моделей бета-распределения одномерных случайных

величин, копул Гамбела–Хаугарда для распределений двумерных случайных величин и иерархической копулярной модели для многомерного распределения. Построенная модель позволяет найти вероятности успешного обучения. Обработка данных выполнялась в статистическом пакете R.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве исходных данных использованы результаты обучения группы студентов по всем дисциплинам основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки «Математика и информатика»). Результаты обучения оценивались в баллах по 100-балльной шкале. Оценке «удовлетворительно» соответствуют баллы от 60 до 69, оценке «хорошо» – от 70 до 89, оценке «отлично» – от 90 до 100. Некоторые дисциплины изучаются несколько семестров. В этом случае каждый ряд оценок по семестрам учитывался отдельно. В итоге получилось 103 ряда оценок.

Любые оценки в баллах являются порядковыми (ранговыми) случайными величинами. Однако, если размах колебаний является достаточно большим по сравнению с ценой деления балльной шкалы, приближенно можно считать баллы количественными случайными величинами. Баллы варьируются от 60 до 100, что позволяет считать их количественными случайными величинами. Предварительно баллы вычи-

тались из 100 и полученный результат делился на 40. Полученные таким способом случайные величины далее будем называть переменными и обозначать x_i .

Для моделирования одномерных распределений случайных величин x_i было использовано бета-распределение, плотность которого равна нулю вне отрезка $[0;1]$, а для $x \in [0; 1]$ имеет вид [13]:

$$f(x) = \frac{\Gamma(a_1 + a_2)}{\Gamma(a_1)\Gamma(a_2)} x^{a_1-1} (1-x)^{a_2-1}. \quad (1)$$

Параметры бета-распределения вычислялись методом моментов. При этом теоретические моменты, зависящие от параметров распределения, приравниваются к выборочным моментам [13]:

$$\hat{a}_1 = \frac{\bar{x}^2(1-\bar{x})}{\text{var}(x)} - \bar{x}, \quad \hat{a}_2 = \frac{\bar{x}(1-\bar{x})^2}{\text{var}(x)} + \bar{x} - 1. \quad (2)$$

Полученные оценки параметров бета-распределения для всех рядов преобразованных оценок по учебным дисциплинам представлены на разработанном авторами сайте (<https://676.su/alit>). Для решения вопроса о приемлемости бета-распределения был выполнен тест Колмогорова–Смирнова. В результате оказалось, что бета-распределение не подходит для рядов оценок по 20 учебным дисциплинам из 103. В случаях когда бета-распределение оказалось неприменимым, преподаватель, как правило, придерживался своеобразного подхода к оцениванию знаний студентов.

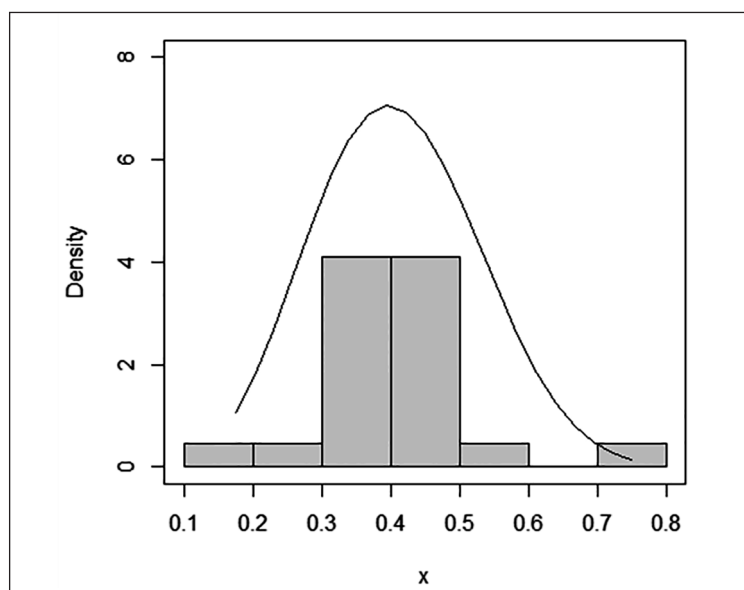


Рис. 1. Гистограмма оценок по дисциплине «Информатика» с графиком соответствующего бета-распределения
Источник: составлено авторами

Например, по одной из учебных дисциплин преподаватель выставил студентам только два вида оценок: 60 или 90 баллов. Поэтому для дальнейшего исследования были использованы ряды оценок x_i только по 83 дисциплинам. Для каждой переменной x_i был вычислен ряд значений u_k ($k = 1, \dots, 83$) соответствующей функции распределения. Пример модели одномерного распределения оценок для дисциплины «Информатика» (оценки параметров бета-распределения 6,56 и 9,47, p-value 0,605), приведенный на рисунке 1, визуализирует возможность использования бета-распределения для моделирования этого одномерного распределения.

В настоящее время для моделирования совместных распределений случайных величин хорошо себя зарекомендовали копула-функции. Копулой называется функция совместного распределения нескольких случайных величин, каждая из которых имеет равномерное распределение на отрезке $[0;1]$. Распространенным является подход, когда сначала моделируют парные распределения, а затем из них строят более сложные модели по определенному алгоритму [13].

Для моделирования парных распределений зависимостей между переменными u_k в настоящем исследовании была выбрана копула Гамбела–Хаугарда [13]:

$$C_\alpha(u, v) = \exp\left(-\left((-\ln(u))^\alpha + (-\ln(v))^\alpha\right)^{1/\alpha}\right), \quad (3)$$

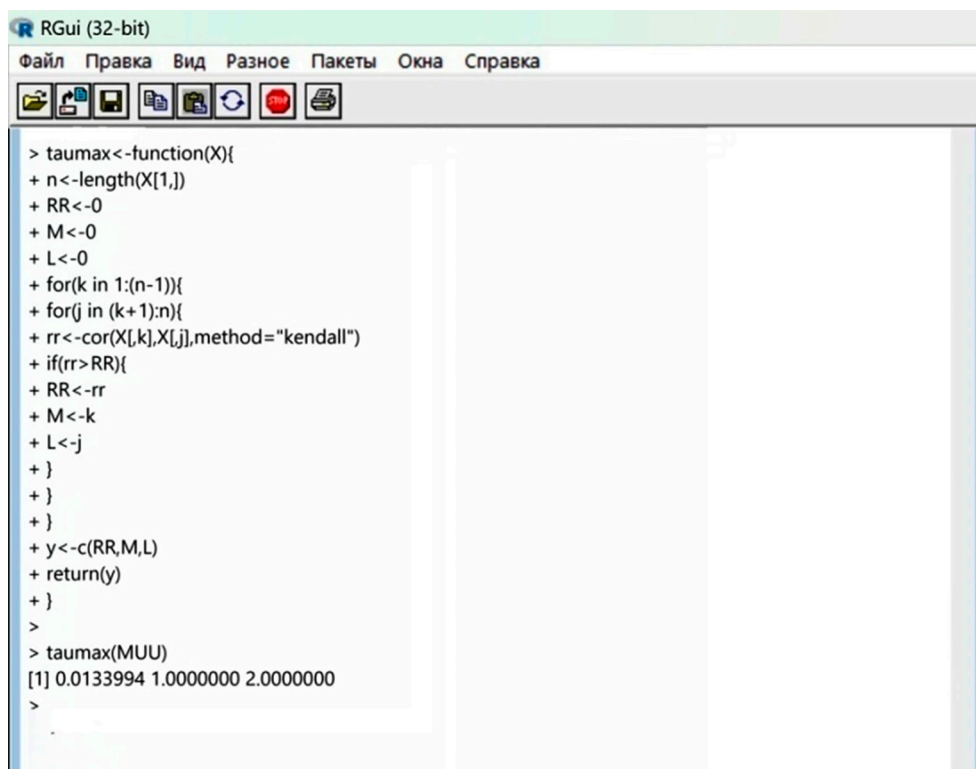
где u, v – случайные величины, α – параметр, подлежащий оценке по исходным данным.

Выбор копулы Гамбела–Хаугарда обусловлен тем, что она часто используется в экономических исследованиях [14], достаточно просто устроена и ее параметр α просто связан с коэффициентом τ ранговой корреляции Кендалла [13]:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \tau} \quad (4)$$

Коэффициент τ был вычислен для пар рядов u_k с помощью программы R.

Иерархическая копулярная модель для многомерного распределения строилась следующим образом. Среди рядов значений функций распределения u_k ($k = 1, \dots, 83$) выбиралась пара рядов, для которых коэффициент корреляции τ был наибольшим. Для этого авторами была создана в R специальная функция `taumax`. Код и результат работы этой функции представлены на рисунке 2.



```

RGui (32-bit)
Файл  Правка  Вид  Разное  Пакеты  Окна  Справка

> taumax<-function(X){
+ n<-length(X[1,])
+ RR<-0
+ M<-0
+ L<-0
+ for(k in 1:(n-1)){
+ for(j in (k+1):n){
+ rr<-cor(X[,k],X[,j],method="kendall")
+ if(rr>RR){
+ RR<-rr
+ M<-k
+ L<-j
+ }
+ }
+ }
+ y<-c(RR,M,L)
+ return(y)
+ }
>
> taumax(MUU)
[1] 0.0133994 1.0000000 2.0000000
>

```

Рис. 2. Функция выбора пары рядов с наибольшим коэффициентом корреляции Кендалла
Источник: составлено авторами

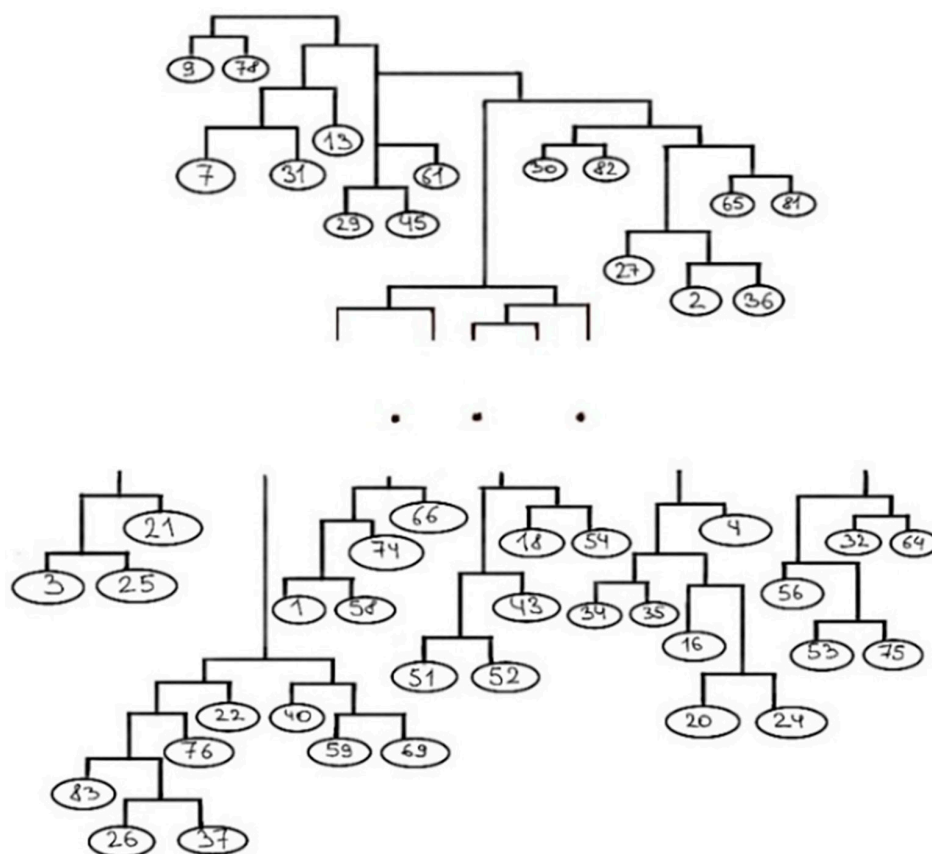


Рис. 3. Фрагмент структуры иерархической копулярной модели
Источник: составлено авторами

Вероятности успешного обучения

Событие	Вероятность по копулярной модели	Вероятность при условии независимости	Относительная частота
А	0,0197086	$1,443258 \cdot 10^{-9}$	0,091
Б	$4,252882 \cdot 10^{-5}$	$2,429692 \cdot 10^{-25}$	0
С	0,0001410377	$4,13788 \cdot 10^{-22}$	0

Примечание: составлено авторами.

На первом шаге такими рядами оказались ряды, соответствующие дисциплинам «Теоретико-групповые принципы геометрии» и «Практикум по решению математических задач». Два данных ряда заменялись рядом функции совместного распределения по формуле (3). Затем указанный процесс для пар рядов с наибольшим коэффициентом корреляции повторялся до тех пор, пока не остался один ряд. Соответствующий алгоритм, а также результат его применения размещены на сайте авторов (<https://676.su/alit>). Фрагмент структуры иерархической копулярной модели изображен на рисунке 3.

Построенная модель позволяет вычислять вероятности успешного обучения

на исследуемой ОПОП (<https://676.su/alit>). Были вычислены вероятности трех случайных событий: А – выпускник образовательной программы завершил его «без троек», т.е. все его оценки не менее 70 баллов; В – все оценки выпускника не менее 80 баллов. В третьем случае все учебные дисциплины были разбиты на три модуля: модуль профессиональной подготовки, модуль психолого-педагогической подготовки и модуль общей культурной подготовки. Событие С – выпускник получил оценки не ниже 80 баллов по всем дисциплинам профессионального модуля, оценки не ниже 70 баллов по всем дисциплинам психолого-педагогического модуля и оценки не ниже 60 баллов по остальным дисциплинам.

Для сравнения были определены относительные частоты этих событий по данной выборке, а также вероятности этих событий в предположении о независимости оценок. Результаты представлены в таблице.

В результате вероятность закончить обучение по рассматриваемой ОПОП «без троек» составила примерно 0,02, т.е. закончить обучение без троек может только 1 студент из 50. В исследуемой выборке таких студентов оказалось 2 из 22. Такое расхождение можно объяснить с двух точек зрения. Это может быть как следствием несовершенства модели, так и следствием случайного стечения факторов. Вероятность закончить обучение по исследуемой ОПОП, получив по всем дисциплинам оценки не ниже 80 баллов, не нулевая. Однако в данной выборке таких студентов нет. Вероятности рассмотренных случайных событий А, В и С, вычисленные с использованием иерархической копулярной модели совместного распределения, оказались значительно выше вероятностей, вычисленных в предположении независимости оценок по различным дисциплинам. Можно признать результат моделирования достаточно успешным.

Заключение

Построенная совокупность моделей позволяет прогнозировать успешность обучения по ОПОП в соответствии с заданным уровнем успеваемости студентов. При построении модели совместного распределения многомерной случайной величины вместо копулы Гамбела–Хяугарда можно использовать и другие копулярные модели. Сравнение этих моделей и поиск наилучшей могут составить предмет дальнейшего развития системы оценки эффективности основных профессиональных образовательных программ.

Разработанная авторами методика оценки эффективности образовательных программ на основе вероятностей успешного обучения может стать одной из основных для сравнения двух ОПОП по родственным направлениям подготовки. При этом программа, для которой вероятность успешного обучения окажется выше, может считаться более эффективной.

Список литературы

1. Доклад о реализации государственной политики в сфере высшего образования и соответствующего дополнительного профессионального образования. М., 2024. URL: <http://static.government.ru/media/files/9FSaRZ2GJ7GRZc1hTICXDQAV9orlaXtI.pdf>. (дата обращения: 16.01.2025).
2. Есин Р.В., Кустицкая Т.А., Носков М.В. Прогнозирование успешности обучения по дисциплине на основе универсальных показателей цифрового следа LMS Moodle // Информатика и образование. 2023. № 38 (3). С. 31–41. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-31-41.
3. Токтарова В.И., Пашкова Ю.А. Предиктивная аналитика в цифровом образовании: анализ и оценка успешности обучения студентов // Сибирский педагогический журнал. 2022. № 1. С. 97–106. DOI: 10.15293/1813-4718.2201.09.
4. Накарякова Н.Н., Русаков С.В., Русакова О.Л. Прогнозирование группы риска (по успеваемости) среди студентов первого курса с помощью дерева решений // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. № 4. С. 121–136. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.4.08.
5. Маханькова И.В., Рогова О.Б. Анализ успешности обучения студентов вуза // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: проблемы высшего образования. 2023. № 2. С. 77–80. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/educ/2023/02/2023-02-17.pdf>. (дата обращения: 16.01.2025).
6. Озерова Г.П., Павленко Г.Ф. Прогнозирование успешности студентов при смешанном обучении с использованием данных учебной аналитики // Science for Education Today. 2019. Т. 9, № 6. С. 73–134. DOI: 10.15293/2658-6762.1906.05.
7. Носков М.В., Вайнштейн Ю.В., Сомова М.В., Федотова И.М. Прогностическая модель успешности предметного обучения в условиях цифровизации образования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2023. Т. 20. № 1. С. 7–19. DOI: 10.22363/2312-8631-2023-20-1-7-19.
8. Помян С.В., Белоконь О.С. Прогноз результатов успеваемости студентов вуза на основе марковских процессов // Вестник Вятского государственного университета. 2020. № 4(138). С. 63–73. DOI: 10.25730/VSU.7606.20.057.
9. Щербин С.И., Харитонов И.М., Отар Т.П., Панфилов А.Э., Кравец А.Г. Применение методов кластерного анализа в задаче прогнозирования успеваемости абитуриентов в вузе // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 5-2. С. 321–325. DOI: 10.17513/snt.40046.
10. Токтарова В.И., Попова О.Г., Сагдуллина И.И., Белянин В.А. Технологии искусственного интеллекта в практике современного высшего образования // Вестник Марийского государственного университета. 2023. Т. 17, № 2 (50). С. 210–220. DOI: 10.30914/2072-6783-2023-17-2-210-220.
11. Сергеев А.Н. Разработка инструментальной системы расчета оптимальных учебных планов и оценки эффективности основных профессиональных образовательных программ // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2019. № 8 (141). С. 22–27. URL: <http://izvestia.vspu.ru/files/publics/Izvestia8.pdf> (дата обращения: 16.01.2025).
12. Зыкова Т.В., Кытманов А.А., Халтурин Е.А., Вайнштейн Ю.В., Носков М.В. Алгоритм анализа и оценки учебных планов образовательных программ // Информатика и образование. 2024. Т. 39, № 1. С. 52–64. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64.
13. Shemyakin A., Kniazev A. Introduction to Bayesian estimation and copula models of dependence. Wiley, 2017. 314 p. DOI: 10.1002/9781118959046.
14. Казакова К.А., Князев А.Г., Лепехин О.А. Иерархические копулы в моделировании кредитного риска // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2017. Т. 13. Вып. 6. С. 1032–1044. DOI: 10.24891/ni.13.6.1032.

УДК 37.04:372.8
DOI 10.17513/snt.40375

ОБУЧЕНИЕ АНАЛИЗУ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

¹Козлов С.В., ²Быков А.А.

¹ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет»,
Смоленск, e-mail: svkozlov1981@yandex.ru;

²Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Смоленск, e-mail: alex1by@mail.ru

Цель исследования заключается в оценке эффективности объяснения обучающимся подходов к анализу логических выражений с использованием языка программирования Python. Изучение математической логики в школе является основной дидактической линией и носит междисциплинарный характер. В связи с этим пониманию обучающимися сущности логических операций, последовательности их выполнения и выполнимости логических формул уделяется особое внимание. Наглядное представление табличных данных программными средствами, связь с пропедевтикой и дидактикой программирования обуславливают востребованность применения алгоритмических конструкций при решении заданий анализа истинности логических формул. Восстановление исходных данных логических переменных с помощью инструментов систем программирования позволяет не только раскрыть функциональные особенности логических зависимостей, но и показать применение компьютерных сред. Использование их возможностей открывает перед обучающимися перспективы совершенствования своих навыков при обработке логических типов данных, что служит основой грамотного составления условий проверки в конструкциях ветвлений и циклов. В статье представлены результаты апробации методологических приемов обучения анализу логических выражений в среде Python. Основное внимание уделено правилам записи логических выражений, порядку следования логических переменных, а также возможному расположению наборов логических кортежей в соответствии с уникальностью данных в таблицах истинности. Авторами приводятся примеры основных типов заданий, используемых в экспериментальной работе. Исследование демонстрирует связь теории построения логических выражений и их анализа с использованием современных средств компьютерной практики.

Ключевые слова: информатика, логика, логические выражения, анализ, программирование, язык Python, таблица истинности

LEARNING TO ANALYZE LOGICAL EXPRESSIONS USING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

¹Kozlov S.V., ²Bykov A.A.

¹Smolensk State University, Smolensk, e-mail: svkozlov1981@yandex.ru;

²Branch of National Research University "MPEI", Smolensk, e-mail: alex1by@mail.ru

The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of explaining to students approaches to the analysis of logical expressions using the Python programming language. The study of mathematical logic at school is the main didactic line and is interdisciplinary in nature. In this regard, students pay special attention to understanding the essence of logical operations, the sequence of their execution and the feasibility of logical formulas. Visual representation of tabular data by software, connection with propaedeutics and programming didactics determines the demand for the use of algorithmic designs when solving tasks for analyzing the truth of logical formulas. Restoring the original data of logical variables using the tools of programming systems allows not only to reveal the functional features of logical dependencies, but also to show the use of computer environments. Using their capabilities opens up prospects for students to improve their skills in processing logical data types, which forms the basis for competent compilation of verification conditions in branch and loop constructs. The article presents the results of testing methodological techniques for learning to analyze logical expressions in a Python environment. The main attention is paid to the rules for writing logical expressions, the order of logical variables, as well as the possible arrangement of sets of logical tuples in accordance with the uniqueness of the data in the truth tables. The authors provide examples of the main types of tasks used in experimental work. The study demonstrates the connection between the theory of constructing logical expressions and their analysis using modern means of computer practice.

Keywords: computer science, logic, logical expressions, analysis, truth table, programming, Python language

Введение

Математическую логику как элемент пропедевтики начинают освещать еще в начальной школе. Обучающиеся учатся строить и определять истинность простых логических высказываний, выяснять, к какому виду они относятся: единичному, частному или общему. Затем переходят к изучению

составных логических высказываний в составных повествовательных предложениях с использованием союзов «И» и «Или», а также отрицательной частицы «Не». В начале обучения в среднем звене школы они знакомятся с логическими функциями, соответствующими этим частям речи, дают им строгое определение [1, 2]. Обучающиеся

ся на практике пробуют строить противоположные утверждения к составным высказываниям, тренируются применять закон контрапозиции. На диаграммах Эйлера–Венна учителя проводят перед ними параллели между логическими операциями и операциями на множествах, раскрывают сущность установленных взаимосвязей [3, 4]. В продолжение обучающиеся постигают правила составления таблиц истинности сложносоставных высказываний, отрабатывают навыки упрощения логических выражений [5]. На занятиях им демонстрируется приложение элементов математической логики к построению контактно-релейных схем. Обучающиеся при этом в разных темах школьного курса информатики решают логические задания с использованием таблиц, схем, графов [6]. Это помогает им получить полное представление об областях применения инструментов математической логики. В завершение обучения информатике в средней школе при изучении программирования они изучают логический тип данных и правила записи логических выражений в конструкциях ветвлений и циклов в инструментальной системе. Обучающиеся записывают в среде программирования решения практических заданий с помощью композиций основных алгоритмических конструкций, применяя свои навыки логики определения правильной последовательности выполнения инструкций. Таким способом они получают целостное представление о возможностях применения математической логики от теории к практике в разных областях знаний, тем самым осваивая одну из основных дидактических линий школьного курса информатики.

В то же время отметим, что прикладной характер данной дидактической линии раскрывается на занятиях не в полной мере. Так, в программировании при решении заданий невозможно обойтись без обсуждения правил записи простых логических выражений и составления из них сложных. Однако как инструмент построения таблиц истинности логических выражений, определения порядка логических переменных в их записи или вычисления значений пользовательских функций алгоритмические конструкции на уроках практически не используются [7, 8]. Учителями не демонстрируется потенциал систем программирования в задачах анализа значений входных данных логических выражений [9, 10]. В связи с этим необходимо в общеобразовательной практике делать акцент на взаимосвязи дидактических линий школьного курса информатики, взаимопроникновении и переплетении их тем и разделов изучения.

Цель исследования состояла в оценке эффективности объяснения обучающимся подходов к анализу логических выражений с использованием языка программирования Python.

Материалы и методы исследования

Экспериментальная деятельность по обучению анализу логических выражений с использованием языка программирования Python проводилась в Смоленском физико-математическом лицее ЯВИР при МИФИ и МЭИ и средней школе № 6 г. Смоленска. Педагогическое исследование осуществлялось в 10-х классах физико-математического профиля с углубленным изучением информатики в течение 2 месяцев. В эксперименте принимали участие 32 обучающихся.

В педагогическом исследовании использовались такие методы, как:

- анализ педагогической и методической литературы;
- обобщение существующего педагогического опыта;
- формирующий эксперимент;
- констатирующий эксперимент.

Результаты исследования и их обсуждение

Задания на построение таблиц истинности логических выражений составляют основу введения в математическую логику. Умениям оперировать значениями простейших выражений, определять последовательность действий в сложносоставных записях, анализировать результаты применения логических функций отводится фундаментальное значение как базису изучения. Формирование навыков построения таблиц истинности логических выражений требует владения этими умениями как инструментом на базовом уровне. Анализ исходного порядка логических переменных при заданных значениях в таблице истинности уже предполагает совсем иной, более высокий уровень навыков умозаключений. В связи с этим обучающиеся достаточно уверенно оперируют навыками логических рассуждений с прямым ходом действий и в недостаточной мере – с обратным порядком. В этой ситуации изменить подход к анализу исходных значений логических выражений можно с использованием современных языков программирования, таких как Python.

Для применения инструментальных возможностей языка программирования Python к решению заданий построения и анализа таблиц истинности логических выражений необходимы определенные знания. Во-первых, обучающиеся должны иметь представление об основных алгоритмиче-

ских конструкциях, таких как следование, ветвление и циклы. Эти знания составляют фундаментальное ядро дидактической линии алгоритмизации и программирования в школе как на профильном, так и на базовом уровне [11, 12]. Обучающиеся должны уметь организовать систему вложенных циклов по количеству переменных в условии заданного логического выражения. При этом используется более компактный по структуре цикл с параметром *for*. Он уже в своей записи содержит параметры начала цикла, конца цикла и шага изменения переменной цикла. Следует отметить, что логические переменные могут принимать два значения – ложь и истина – 0 и 1 соответственно. Для этого можно воспользоваться указанием диапазона, не забывая о том, что в языке программирования Python он представляет собой полуинтервал, левый конец которого включен в заданный промежуток, а правый – нет. Либо для этого можно воспользоваться списком, состоящим из двух элементов – 0 и 1, который бы просматривался в каждом вложенном цикле по числу переменных, содержащихся в заданном логическом выражении. При этом список можно задать в программе единожды.

Во-вторых, необходимо изучить правила записи сложных составных логических выражений. В их конструкциях могут присутствовать три основные логические операции – отрицание, конъюнкция и дизъюнкция. С помощью них можно построить любое логическое высказывание, они образуют базис операций. В то же время в условии задания логического выражения, помимо них, могут использоваться операции импликации и эквивалентности. В связи с этим одним из теоретических подходов, применяемых на практике, может служить методология преобразования логических выражений к базису. Так, импликацию в выражении можно равносильно заменить на дизъюнкцию отрицания посылки и заключения, а эквивалентность – на дизъюнкцию от конъюнкции двух исходных выражений и конъюнкции их отрицаний. При этом, если при «ручном» способе решения поступают именно так, то при использовании системы программирования Python прибегают к замене импликации на арифметическое сравнение выражений с помощью знака «меньше или равно», именно при его выполнении логическое выражение остается истинным, а в противном случае – ложным. Это соответствует определению логической функции импликации. При этом следует заметить, что в языке Python выполняется переопределение семантики функций с одинаковым именем. Если

сравнение применяется к значениям логических выражений, то результатом будет, так же как при сравнении числовых данных, логическая константа *False* или *True*, но при этом приоритет операций будет иным. Сравнение будет производиться в той последовательности, в которой указаны логические переменные в выражении. Другими словами, сравнение «меньше или равно» имеет более сильный приоритет и выполняется раньше логических операций отрицания, конъюнкции и дизъюнкции, если их не взять в скобки с набором их переменных. Такой же подход действует при замене эквивалентности на сравнение «равно», которое записывается в виде знака двойного равенства. Это позволяет существенно упростить запись логического выражения, сделав ее менее громоздкой и более читаемой. Кроме того, при решении задания «на бумаге» можно для упрощения записи логического выражения применить и другие законы равносильного преобразования логических формул, такие как инволютивность, коммутативность или законы де-Моргана. Использование же инструментов системы программирования Python этого не требует. Логическое выражение можно не упрощать: среда выполнит вычисления в указанном порядке, не затрачивая дополнительных вычислительных ресурсов и не прибегая к логическим преобразованиям [13]. Таким образом, обучающиеся должны уметь грамотно записывать заданные в условии логические выражения с учетом приоритета выполнения действий, определенных в записи, и упрощать их структуру.

В-третьих, обучающиеся внутри конструкции вложенных циклов должны составить с помощью конструкции оператора ветвления *if* запись простейшего сравнения значения логического выражения с логической константой *False* или *True* в зависимости от условия задания. При этом следует обратить их внимание, что для этого так же более удобно, как и при интерпретации логических функций импликации и эквивалентности, использовать числа 0 и 1 для обозначения значений логических констант. Значение 0 соответствует по условию заданий ситуации, что функция тождественно ложна, а 1 – тождественно истинна. После проверки условия необходимо вывести на экран консоли значения набора переменных, которые соответствуют указанному значению функции, и дожидаться появления результатов выполнения программы, которое происходит за долю миллисекунды. Заметим также, что для удобства перед выполнением циклов можно с помощью той же команды *print()* вывести на экран наимено-

вания переменных, которые участвуют в записи логического выражения, приведенного в задании. Это позволяет отобразить исходное расположение логических переменных по столбцам как отправную точку анализа полученных данных.

В дальнейшем решение задания строится на выборе такого положения строк и столбцов, которое бы соответствовало фрагменту данных значений логических переменных, представленных в условии задания. При этом отметим, что использование языка программирования Python исключает возможную ловушку, отмеченную в задании, состоящую в том, что строки таблицы истинности не должны совпадать. Фрагмент таблицы истинности, полученный после запуска программы, исключает такую ситуацию априори. Рассмотрим авторский пример такого задания, решение которого будет получено с помощью системы программирования Python.

Пример. Задано логическое выражение $F = (a \rightarrow b \wedge \neg c) \vee d$. Определите, какому столбцу приведенного фрагмента истинности логического выражения соответствует каждая из логических переменных a, b, c, d , учитывая, что строки в таблице не повторяются (табл. 1).

Таблица 1

Таблица истинности логического выражения F

?	?	?	?	F
1	0			0
	1		0	0
1			1	0

Примечание: составлено авторами.

Решение. Представим программный код построения фрагмента таблицы истинности, при котором значение логического выражения равно 0, в языке Python.

```
print('a b c d')
for a in range(2):
    for b in range(2):
        for c in range(2):
            for d in range(2):
                f = (a <= (b and not c)) or d
                if f == 0: print(a, b, c, d)
```

После запуска данной программы на экран консоли будет выведена следующая информация, соответствующая расположению переменных a, b, c, d по столбцам.

```
a b c d
1 0 0 0
1 0 1 0
1 1 1 0
```

Остается для получения ответа на вопрос о расположении логических переменных по столбцам проанализировать ее. Заметим, что в таблице есть два столбца, полностью состоящих из одинаковых чисел. Это столбцы переменных a и d . Они полностью состоят из 1 и 0 соответственно. Тогда, если в пустой столбец исходной таблицы истинности расположить переменную a , то для переменной d не останется в ней места, так как в оставшихся столбцах есть по крайней мере одна единица. Ввиду этого следует поместить переменную a в первый столбец, так как во втором и четвертом есть нули, а переменную d расположить в третьем столбце таблицы. Осталось правильно расположить переменные b и c по столбцам. Для этого обратим внимание, что во фрагменте во второй строке есть значения 1 и 0 во втором и четвертом столбце соответственно. А в выведенном программой таблице такой набор есть также во второй строке, но в обратном порядке. Следовательно, второму столбцу будет отвечать переменная c , а четвертому – b . Таким образом, искомая последовательность логических переменных – $acbd$.

Ответ: $acbd$.

Задания такого типа были предложены обучающимся в ходе экспериментальной работы по углубленному изучению математической логики в курсах профильной информатики Смоленского физико-математического лицея ЯВИР при МЭИ и МИФИ и средней школы № 6 г. Смоленска. Задания были разноуровневые. На базовом уровне обучающимся предлагались задания, в которых в выражениях использовались только логические операции отрицания, конъюнкции и дизъюнкции, а значение функции F было для всех строк одинаково – либо 0, либо 1. На повышенном уровне – в выражениях были добавлены операции импликации и эквивалентность. В заданиях высокого уровня сложности число выводимых программой строк фрагмента таблицы истинности было больше, чем количество строк в представленной в задании таблице. При этом, если на базовом и повышенном уровнях сложности порядок действий всегда определялся скобками, то в заданиях на высоком уровне сложности было необходимо следить за приоритетом выполнения логических операций и определяемой в соответствии с этим последовательностью действий. Кроме того, строки выводимой таблицы истинности приходилось при анализе переставлять местами, что также увеличивало сложность проводимого обучающимися анализа.

Такая система заданий определила методологическую основу экспериментальной работы. Результаты, полученные в ходе формирующего и констатирующего экспериментов, были обработаны и проанализированы с помощью математических методов. Гипотеза исследования состояла в том, что использование инструментальных средств языка программирования Python при обучении анализу значений переменных логических выражений в школе повышает эффективность образовательного процесса.

Педагогический эксперимент, в котором принимали участие 32 обучающихся, состоял из двух этапов. На констатирующем этапе эксперимента обучающиеся изучали основные понятия математической логики, принципы построения логических выражений, правила выполнения логических операций, приемы и особенности построения таблиц истинности логических выражений. Они выполняли задания по теме «Таблицы истинности логических выражений», решая их в тетради или используя блокноты для записи на электронных планшетах. Большая часть времени была отведена получению навыков составления таблиц истинности и «ручному» способу анализа данных, содержащихся в них. В конце этапа была проведена диагностическая работа, включающая 3 задания базового уровня сложности, 2 – повышенного и 1 – высокого уровня.

На данном этапе эксперимента из 18 обучающихся СФМЛ ЯВИР при МИФИ и МЭИ высокий уровень усвоения знаний и сформированности умений показали 4 человека, повышенный уровень – 7 человек и базовый уровень – 7 человек, среди обучающихся средней школы № 6 г. Смоленска – 3, 6 и 5 человек соответственно. Такие данные демонстрируют нормальный закон распределения с пологом спуском в зону базового уровня.

На формирующем этапе эксперимента обучающиеся пробовали свои силы при решении заданий анализа таблиц истинности логических выражений с использованием системы программирования Python. Отметим, что базовые навыки алгоритмизации и программирования ими были получены ранее. Они дополнительно изучили правила записи логических операций импликации и эквивалентности в среде Python. При этом особое внимание было уделено приоритету выполнения действий в записи сложных логических выражений. Анализ соответствия полученного программным способом с помощью языка программирования Python фрагмента таблицы истинности и таблицы из задания проходил в его инструментальной среде. После этого об-

учающиеся определяли и записывали полученную последовательность логических переменных. В конце этапа была проведена диагностическая работа, включающая 1 задание базового уровня сложности, 2 – повышенного и 3 – высокого уровня.

Участие в эксперименте на данном этапе принимали те же обучающиеся. При этом в СФМЛ ЯВИР при МИФИ и МЭИ высокий уровень продемонстрировали 9 человек, повышенный – 8 учеников и 1 обучающийся – базовый уровень усвоения знаний и сформированности умений, в средней школе № 6 г. Смоленска – 7, 6 и 1 человек соответственно. Такие данные также отвечают нормальному закону распределения, но при этом уже с пологом подъемом в области высоких результатов. Это свидетельствует о существенном приросте учебных достижений по теме «математическая логика».

В ходе эксперимента для генерации наборов заданий, предлагаемых на занятиях обучающимся, использовалась система «Advanced Tester». В среде этой системы осуществляли статистический анализ диагностических работ, а также выполняли построение индивидуальных и групповых траекторий обучения [14, 15]. При этом отметим, что возможности системы «Advanced Tester» таковы, что обучающиеся могли готовиться к занятиям в удаленном режиме, как и выполнять домашние задания.

Качественный анализ условий и результатов эксперимента. Анализ результатов, полученных в ходе экспериментальной работы, свидетельствует, что у обучающихся произошел качественный скачок в знаниях и умениях. Если на этапе формирующего этапа эксперимента они в большинстве своем уверенно справлялись с заданиями базового и повышенного уровня сложности, то на констатирующем этапе приоритетом стало выполнение заданий высокого уровня сложности. При использовании инструментов программирования на языке Python в совокупности с базовыми знаниями математической логики обучающиеся не теряются при установлении правильной последовательности действий, уверенно оперируют наборами значений переменных логического выражения и эффективно определяют их местоположение в представленной таблице истинности.

Отметим, что использование системы программирования Python при решении данных задач позволяет существенно расширить их круг. Помимо стандартных заданий, обучающимся можно предлагать и задания, содержащие переменные значения 0 и 1 в результирующем столбце значений

логического выражения F . Это не вызывает у них дополнительных затруднений ввиду того, что поиск необходимой комбинации строк и столбцов осуществляется по тем же правилам. При этом такое видоизменение задания предполагает увеличение времени его решения при поиске правильного ответа, так же как и анализ в одном задании двух логических выражений, зависящих от одного набора переменных при заданных фрагментах таблиц истинности. Это позволяет утверждать, что гипотеза исследования эффективности использования системы программирования Python при анализе таблиц истинности и восстановлении исходной последовательности значений переменных логического выражения находит свое доказательство.

Заключение

Таким образом, проведенная в ходе эксперимента работа отражает необходимость более широкого использования системы программирования Python при решении задач анализа значений таблиц истинности логических выражений. Обучающиеся с большим интересом начинают изучать как математическую логику, так и программирование, так как видят применение на практике изученных инструментов в методах исследования ситуаций из взаимопроверяющих элементов знаний и умений. Это расширяет их профессиональный кругозор и способствует формированию у них прочной базы компонентов курса информатики, образующих единую систему предметной подготовки.

Список литературы

1. Колобов А. Н. Математическая логика на современном этапе образования // Мир науки, культуры, образования. 2024. №4 (107). С. 236-238. DOI: 10.24412/1991-5497-2024-4107-236-238.
2. Авдеева Е.В. Методические особенности изучения математической логики // Abyss (Вопросы философии, политологии и социальной антропологии). 2019. № 4 (10). С. 64-69.
3. Александров А.А., Гильфанов А.Ф., Беттигер Д.Л. Проектирование адаптивной обучающей среды для изучения операций логики высказываний // Образовательные технологии и общество. 2018. Т. 21, №3. С. 241-248.
4. Корчажкина О.М. Вербально-визуальный метод при обучении булевой алгебре в курсе информатики для старшей школы // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. 2020. № 4 (54). С. 16-26. DOI: 10.25688/2072-9014.2020.54.4.02.
5. Попов В.С., Алефиренко Е.А., Черницына Л.Ю. Способы проверки ответа при решении задания № 2 ЕГЭ по информатике на определение порядка переменных в частично заполненной таблице истинности логической функции // Педагогическая информатика. 2024. №3. С. 72-81.
6. Козлов С.В., Быков А.А. Особенности изучения междисциплинарных тем школьных курсов математики и информатики с помощью методов математического моделирования // Проблемы современного образования. 2021. № 5. С. 250-261. DOI: 10.31862/2218-8711-2021-5-250-261.
7. Козлов С.В., Быков А.А. Обучение анализу значений арифметических выражений с использованием языка программирования Python в школе // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 5-1. С. 148-153. DOI: 10.17513/snt.40020.
8. Кондратьева В.А. Обучение основам программирования на языке Python в школьном курсе информатики // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. 2021. № 1 (55). С. 8-16. DOI: 10.25688/2072-9014.2021.55.1.01.
9. Панова И.В., Коливын А.А. Методические аспекты обучения программированию на языке Python в школьном курсе информатики // Информатика в школе. 2020. № 6. С. 47-50. DOI: 10.32517/2221-1993-2020-19-6-47-50.
10. Каракозов С.Д., Маняхина В.Г. Python как базовый язык обучения программированию в школе // Информатика в школе. 2020. № 1 (154). С. 26-30. DOI: 10.32517/2221-1993-2020-19-1-26-30.
11. Моторин В.В. Целесообразность использования языка Python в качестве базового при обучении школьников программированию // Конструктивные педагогические заметки. 2020. № 8-2 (14). С. 118-127.
12. Козлов С.В., Быков А.А. Особенности обучения школьников олимпиадному программированию с использованием методов математического моделирования // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 6. С. 141-146. DOI: 10.17513/snt.39215.
13. Маркелов В.К., Завьялова О.А. Язык программирования Python как альтернативный инструмент для решения заданий ЕГЭ по информатике // Информатика в школе. 2023. № 2 (181). С. 63-72. DOI: 10.32517/2221-1993-2023-22-2-63-72.
14. Козлов С.В., Быков А.А. Применение методов математического моделирования для диагностики знаний школьников // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 157-162. DOI: 10.17513/snt.38632.
15. Киселева О.М. Использование математических методов для формализации элементов образовательного процесса // Концепт. 2013. № 2. С. 51-57.

УДК 378.14
DOI 10.17513/snt.40376

**ЯДРО ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ
ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ОБУЧАЮЩИХСЯ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ
«ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА» ВУЗА
В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ**

Курзаева Л.В.

*ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: lkurzaeva@mail.ru*

Процесс формирования конкурентоспособности обучающихся направлений подготовки «Информатика и вычислительная техника» с учетом особенностей контекста, заданного цифровой трансформации экономики, требует поиска новых и уточнения уже выделенных закономерностей и принципов. Целью настоящего исследования является выделение закономерностей и принципов для построения ядра концепции формирования конкурентоспособности обучающихся направлений подготовки «Информатика и вычислительная техника» в контексте цифровой трансформации экономики. Формирование ядра концепции является одной из важнейших задач научного исследования, результат решения которой влияет на дальнейшее раскрытие замысла автора. В рамках настоящей работы выполнена попытка анализа закономерностей рассматриваемого процесса, выделенных на основе четырех подходов: системно-синергетического, трансферно-компетентностного, акмеологического, проектного. Установление принципов произведено с учетом требований системности, дополнительности, ориентированности, аспектности, теоретической и практической значимости. Разработанное ядро концепции содержит: 1) закономерность самоорганизации и следующий из нее принцип вариативности; 2) закономерность организации и вытекающие из нее принципы экосистемности и внешнего дополнения; 3) закономерность целеполагания и основанный на ней принцип покрытия актуального поля знаний; 4) закономерность обусловленности и следующий из нее принцип проактивности; 5) закономерность результативности и следующие из нее принципы субъектности, сочетания актуального и потенциального; 6) закономерность эффективности и вытекающие из нее принципы оптимальности и продуктивного взаимодействия. Выделенная структура закономерностей и принципов отвечает всем заявленным требованиям к ее построению, что определяет корректность построения ядра концепции, гармоничности и взаимосвязи его функциональных уровней.

Ключевые слова: конкурентоспособность обучающегося, информационные технологии, закономерности, принципы, ядро концепции, цифровая трансформация экономики

**THE CORE OF THE PEDAGOGICAL CONCEPT OF FORMING
THE COMPETITIVENESS OF STUDENTS OF THE TRAINING DIRECTIONS
“INFORMATICS AND COMPUTER ENGINEERING” OF THE UNIVERSITY
IN THE CONTEXT OF THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ECONOMY**

Kurzaeva L.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: lkurzaeva@mail.ru

The process of formation of competitiveness of students conducts the preparation of “Informatics and computer engineering” taking into account the context given by the digital transformation of the economy, requires the definition of new and clarification of already identified patterns and limitations. The purpose of this study is to identify patterns and change the fundamental principles of formation of students’ abilities to ensure the preparation of “Informatics and computer engineering”, a competitor of the second digital transformation of the economy. Formation of a fundamental concept is one of the universal solutions to the problems of scientific research, the result of which is the further disclosure of the author’s intention. In this paper, an attempt is made to analyze the manifestations of the reflection of the process, identified on the basis of four approaches: system-synergetic, transfer-competence, acmeological, project. The establishment of reduction is made taking into account the requirements of systematicity, complementarity, focus, aspect, theoretical and practical innovation. The developed core of the concept contains: 1) the pattern of self-organization and the principle of variability following from it; 2) compliance of the organization and the principles of ecosystem and external additions arising from it; 3) the pattern of goal-setting and the principle of covering the current field of knowledge based on it; 4) conditionality and the principle of proactivity following from it; 5) the pattern of effectiveness and the principles of subjectivity following from it, the decision of the current and reliable; 6) the pattern of efficiency and the principles of sustainability and productive interaction arising from it. The selected structure of conditions and regulation meets all the stated requirements for its construction, which determine the correctness of the construction of the basic concept, and ensure the interrelations of its specified levels.

Keywords: student competitiveness, information technology, patterns, principles, core of the concept, digital transformation of the economy

Введение

Концепция (от лат. *conceptio*) – «система взаимосвязанных и вытекающих один из другого взглядов на те или иные явления, процессы; способ понимания, трактовки явлений, событий; основополагающая идея какой-либо теории; общий замысел, главная мысль» [1, с. 346]. Стройность структуры и гармоничность содержания любой научной концепции в значительной степени зависят от выбранного теоретико-методологического основания или ядра. Е.В. Яковлев и Н.О. Яковлева рассматривают ядро педагогической концепции как систему исходных положений, которое включает закономерности и принципы исследуемого педагогического процесса или системы, выделенных в рамках выбранных методологических подходов и определяющих специфику построения и точку зрения относительно структуры и содержательного наполнения научной теории [2].

Под конкурентоспособностью обучающихся ИТ-направлений подготовки вуза будем понимать интегративную характеристику, объединяющую потенциальные и реализованные качества и способности личности, которые не только отвечают требованиям социального заказа к профессиональной компетентности специалиста (бакалавра, магистра) по информационным технологиям, но и способствуют его успешной самореализации в будущем в динамично изменяющихся условиях и обеспечивают ему внутреннюю уверенность в себе, адекватную самооценку и гибкую адаптацию к частым переменам в профессиональной деятельности [3].

Проблема формирования конкурентоспособности обучающегося вуза в целом не нова, при изучении работ по ней за последние тридцать лет было отмечено, что методологической основой чаще всего выступали следующие подходы (и их комбинации): системный, синергетический, деятельностный, личностно ориентированный, компетентностный, антропологический, субъектный, акмеологический, аксиологический. Если системный и синергетический подходы используются практически во всех исследованиях по причине своих методологических возможностей и универсальности, то в отношении остальных можно увидеть некоторую вариативность, связанную с особенностями объекта исследования и временной повестки, а также интересными воплощениями авторских идей (например, с опорой на антропологический, субъектный, акмеологический, аксиологический подходы). Всё это, несомненно, обогащает педагогическую теорию и практику,

однако в современном контексте цифровой трансформации экономики формирование конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки вузов требует уточнения и переосмысления.

Отметив наличие общих педагогических закономерностей и принципов, применимых к процессу формирования конкурентоспособности обучающихся направлений подготовки «Информатика и вычислительная техника» (далее – ИТ-направлений подготовки), автор определил следующие причины необходимости их уточнения, а также выделения частных закономерностей и принципов исходя из современного контекста:

1. Трансформационные процессы в экономике определяют важность установления специфических закономерностей рассматриваемого процесса, которые можно понять, если учитывать, с одной стороны, особенности современного общественно-экономического развития, а с другой – закономерности индивидуального развития, что наиболее полно можно рассмотреть с позиций системно-синергетического подхода.

2. Современная скорость трансформационных процессов, прироста объемов информации и сменяемости технологий влекут серьезные изменения жизненного цикла актуального знания как в профессиональной среде, так и в рамках образовательного процесса в вузе. Поиск закономерностей неэкстенсивного характера, когда эффективность рассматриваемого процесса зависит не от больших объемов информации и деятельности, а, например, от особой организации процессов передачи и освоения актуальных знаний и технологий, что возможно рассмотреть на основе трансферно-компетентностного подхода (как подхода, обладающего необходимой методологической силой для выявления, изучения и формирования компетенций, необходимых для решения задач в трансфер-зонах, возникающих в предметных областях применения сквозных цифровых технологий [4]).

3. Выделенные ранее закономерности и принципы в педагогических исследованиях по близким тематикам требуют уточнения, так как не покрывают всех глубинных связей между педагогическим воздействием, взаимодействием, активной деятельностью субъектов и результатами процесса формирования конкурентоспособности обучающегося ИТ-направлений подготовки в контексте цифровой трансформации экономики, что возможно сделать в русле акмеологического и проектного подхода.

Целью исследования является выделение закономерностей и принципов

для построения ядра концепции формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки вуза в контексте цифровой трансформации экономики.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются закономерности и принципы процесса профессиональной подготовки в вузе.

Предметом исследования являются частные закономерности и принципы формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений в процессе профессиональной подготовки в вузе.

Методологическим основанием разработки ядра предлагаемой педагогической концепции формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки в контексте цифровой трансформации экономики была выбрана иерархическая совокупность методологических подходов, в которой: системно-синергетический подход выступает общенаучной основой; трансферно-компетентностный подход определяет стратегический уровень реализации концепции; акмеологический и проектный подход – уровень практической реализации.

Теоретическое обоснование наполнения ядра концепции выполнено на основе анализа публикаций, определяющих сущность категорий «закономерность» и «принцип», а также посвященных раскрытию наиболее важных аспектов профессиональной подготовки ИТ-кадров в свете выбранной парадигмы подходов. В педагогике закономерность определяется как взаимосвязь между педагогическими явлениями и компонентами педагогического процесса, характеризующаяся постоянством в определенных условиях, а ее реализация необходима для поставленных целей. На основе закономерностей выделяются принципы, устанавливающие руководящую идею и основные требования и правила ее воплощения. Настоящее исследование посвящено выделению специфических принципов организации и реализации рассматриваемого процесса с опорой на общепринятые требования: объективности, системности, дополнительности, ориентированности, аспектности, теоретической и практической значимости [2, с. 119-120].

Результаты исследования и их обсуждение

Системно-синергетический подход позволяет выделить закономерности, раскрывающие значение организации и самоорганизации в рассматриваемом процессе с учетом внешних и внутренних факторов

по отношению к образовательной экосистеме вуза и личности обучающегося. *Закономерность самоорганизации: формирование конкурентоспособности обучающегося ИТ-направлений подготовки зависит от процессов самоорганизации личности для достижения образа желаемого профессионального будущего в контексте цифровой трансформации экономики.* Самоорганизация в педагогических исследованиях последних лет (В.В. Сохранова-Преображенского [5], Д.В. Рахинского, В.В. Лунева [6] и др.) рассматривается как процесс сознательного и целенаправленного конструирования своей личности, исходя из имеющихся эталонных представлений о будущем «я-идеальном» и результатов самооценки. Самоорганизация в рамках настоящего исследования рассматривалась в двух взаимосвязанных аспектах: 1) внутриличностной структуры обучающегося, обеспечивающей возможность реализации процессов самоорганизации в ходе формирования его конкурентоспособности; 2) коэволюции или совместной эволюции личности обучающегося и экосистемы вуза. На основе сформулированной закономерности выделим *принцип вариативности* формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки, который означает, что формирование искомого качества личности для каждого обучающегося – это свой уникальный путь, хоть и заданный в общем образовательном процессе вуза.

Закономерность организации: формирование конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки зависит от организации процессов своевременного отклика экосистемы вуза на воздействие факторов цифровой трансформации экономики. Самоорганизация может приводить как к развитию системы, так и к остановке этого развития. Поэтому вторая закономерность раскрывает взаимосвязи, проявляющиеся в организации педагогического обеспечения формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки как важной составляющей отклика экосистемы вуза в ответ на трансформационные процессы в экономике, необходимость которого подмечена в работе И.И. Ереминой и Д.М. Лысановой [7]. На основе данной закономерности выделен принцип *экосистемности*, который определяет необходимость формирования образовательной экосистемы вуза для формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки, созданной с участием партнеров вуза и являющейся не проекцией, а частью среды будущей профессиональной деятельности – отрасли информационных техноло-

гий (далее – ИТ-отрасли). Учитывая вендерозависимость процесса профессиональной подготовки ИТ-кадров и сквозной характер самих цифровых технологий, принцип экосистемности является требованием к обеспечению как можно более полных условий для формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки в контексте цифровой трансформации экономики. Также выделен *принцип внешнего дополнения*, который означает необходимость педагогической поддержки процессов самоорганизации при формировании конкурентоспособности обучающихся в экосистеме вуза. В фокус педагогического обеспечения в первую очередь попадают способы организации эффективного взаимодействия участников образовательной экосистемы вуза, в том числе для реализации «третьей миссии» университета [8].

Трансферно-компетентностный подход позволяет установить частные закономерности целеобразования и обусловленности. *Закономерность целеобразования: адекватность целеобразования в процессе формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки зависит от актуальности трансфера компетенций в процессе профессиональной подготовки с учетом общественных потребностей и особенностей данного этапа научно-технического прогресса и их влияния на профессиональную сферу.* А.И. Агошков, Е.В. Кудряшова, Г.Н. Ларкин и их соавторы в своих исследованиях подчёркивают ключевое значение трансфера знаний в современных образовательных экосистемах [9-11], в том числе указывая его как фактор наличия инновационной составляющей образовательного процесса и его интеграции с научно-исследовательской деятельностью и разработками (R&D). В силу сквозного характера изучаемых современных цифровых технологий (искусственного интеллекта и машинного обучения, виртуальной и дополненной реальностей, интернета вещей и др.) и комплексности их использования (например, при разработке цифровых двойников промышленных объектов, иммерсивных средств обучения и др.) дидактическая система профессиональной подготовки обучающихся ИТ-направлений подготовки должна иметь трансдисциплинарную и транспрофессиональную направленность, а возникающие трансфер-интегративные области научного знания и слияния предметных областей подлежат глубокому анализу и осмыслению для определения актуального содержания рассматриваемого процесса, на что обращает внимание И.В. Роберт [12]. Задание цели по отношению к содержанию

формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки вуза в этом случае осуществляется в следующей логике: определение источников и структуры явных и неявных знаний, важных для определения желаемых результатов рассматриваемого педагогического процесса в формате компетенций (в этом проявляется диалектическая связь конкретно трансферного подхода с компетентностным, в парадигме которого строится и реализуется процесс профессиональной подготовки на основе современных ФГОС ВО и профессиональных стандартов); обоснование актуальности трансфера знания в соответствии с рассматриваемым педагогическим процессом; своевременная актуализация структуры и способов трансфера знаний для достижения целей рассматриваемого педагогического процесса. На основе данной закономерности сформулируем *принцип покрытия актуального поля знаний*, устанавливающий требование к комплексности проработки содержания процесса формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки.

Закономерность обусловленности: течение и результаты формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки зависят от индивидуальной способности и готовности самого обучающегося к обеспечению непрерывности трансфера знаний профессиональной сферы для преобразования структуры и содержания искомого качества личности и среды ее активности. Скорость обновления технологий и роста объемов знаний в ИТ-отрасли превосходит рост знаний в других отраслях. В таких условиях сам обучающийся, как субъект трансфера знаний, должен обладать необходимыми способностями по уточнению целей формирования собственной конкурентоспособности и путей ее достижения, а образовательная экосистема должна быть выстроена в рамках современных дидактико-технологических парадигм, к которым И.В. Роберт относит парадигмы распределенного обучения, высокотехнологичного образования и конвергентного образования [13]. На основе данной закономерности сформулируем *принцип проактивности*, определяющий важность стимулирования проактивного поведения обучающегося (самостоятельной инициации участия в трансфере знаний в разных ролях) для расширения и усиления его конкурентных преимуществ.

Уровень практической реализации концепции рассматриваемого процесса определяют акмеологический и проектный подходы.

Акмеологическую закономерность результативности сформулируем следующим образом: *результат формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки зависит от корректной идентификации им своих качественных доминант как конкурентных преимуществ, а также активизации и реализации потенциала личности для достижения успехов и продуктивной профессиональной деятельности.* Взаимосвязь активизации профессионально-личностного потенциала и достижения профессионального акме проявляется в самой сути феномена конкурентоспособности обучающегося, определяя его настоящую и будущую профессиональную и личностную успешность. П.Д. Рабинович, К.Е. Заведенский, Е.А. Лопатина, Г.Д. Емелин, Д.Н. Долганов предлагают развитие потенциала личности по трем направлениям: «работа с идеальным» (поиски собственных смыслов), «саморазмещение в социуме» (род занятий, виды деятельности, карьерная позиция), а также «могущество» (превенция рисков, действие на опережение) [14]. Выделенная закономерность определяет следующие два принципа. *Принцип субъектности* заключается в создании такого акмеологического воздействия, в результате которого обучающийся, осознавая свою уникальность, постепенно становится самостоятельным и ответственным за формирование собственной конкурентоспособности. *Принцип сочетания актуального и потенциального* заключается в необходимости определения вектора формирования конкурентоспособности обучающегося для накопления личностно-профессионального потенциала, который обеспечит ей в будущем возможность самореализации.

Если выделенная закономерность в рамках акмеологического подхода определяет результативность формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки, то закономерность, выделенная в рамках проектного подхода, определяет эффективность данного процесса. *Закономерность эффективности: эффективность формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки в контексте цифровой трансформации зависит от способности быстрого приращения актуальных на данный момент компетенций обучающимся в проектной деятельности.* «Эффективность» в рамках проектного подхода является, по сути, парадигмальным понятием, так как управление проектами и заключается в организации эффективного использования доступных ресурсов

для достижения целей проектов. Реализация данной закономерности связана со следованием принципам оптимальности и взаимодействия. *Принцип оптимальности* заключается в достижении наилучшего результата по формированию конкурентоспособности обучающегося в ограничениях проектной деятельности [15]. Учитывая специфику ИТ-отрасли, раскрытую в работах Ю.В. Ляндау, А.С. Буткевич [16], скажем, что сами знания могут быть неформализованными и даже носить неявный характер. Способности быстро их осваивать, обучаться и самообучаться лежат в основе эффективности деятельности участников проекта. *Принцип продуктивного взаимодействия* определяет важность коммуникационных процессов в рамках проектной деятельности, в том числе для трансфера явных и неявных знаний между ее участниками. Готовность к включению в командную работу и работа в команде – требования рынка труда ИТ-отрасли, следовательно, это важные конкурентные преимущества обучающихся ИТ-направлений подготовки. Соглашаясь с О.В. Крежевских, отметим, что результатом продуктивного взаимодействия выступает не только формирование компетенций, но и получение продуктивных результатов, в том числе объектов интеллектуальной собственности [17]. Продуктивное взаимодействие – это требование к обеспечению инновационности современного образовательного процесса и его признак. Визуализация разработанного ядра концепции представлена схемой на рисунке.

«Пересечение» выявленных закономерностей может доказывать корректность построения ядра концепции, гармоничности и взаимосвязи его функциональных уровней: общенаучного представления, стратегии и практической реализации. Выделенные принципы формализованы на основе закономерностей, последовательно дополняют друг друга, устраняя определенные противоречия, и имеют существенное значение для развития педагогической теории и совершенствования практики формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки в контексте цифровой трансформации экономики. Выделенные закономерности и принципы на уровне практической реализации имеют место на разных уровнях высшего образования, однако их проявление будет отличаться в силу различия личностных, образовательных, профессиональных, карьерных потребностей и устремлений обучающихся бакалавриата, специалитета и магистратуры.

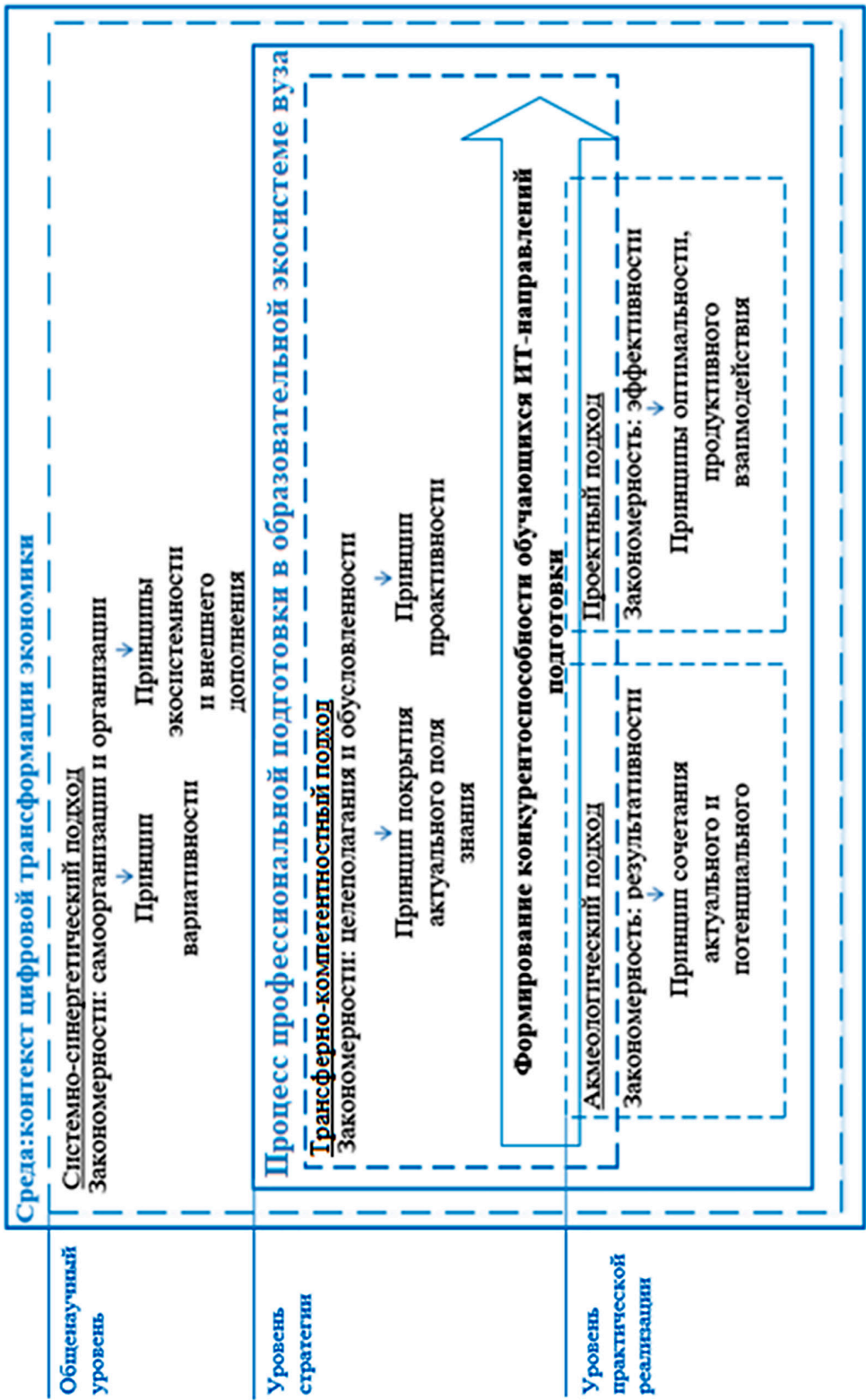


Схема ядра концепции формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки в контексте цифровой трансформации экономики

Так, например, реализация принципа субъективизации при формировании конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки бакалавриата и специалитета предполагает внимание вопросам отраслевой специализации обучающегося в рамках решаемых дидактических задач и предполагает более выраженную акмеолого-педагогическую поддержку, чем в магистратуре, где данный принцип предполагает решение вопросов карьерного позиционирования и роста с большей долей самостоятельности обучающегося.

Заключение

Разрабатываемая концепция отличается от ранее предложенных и освещенных в научной литературе подходов, выбранных в качестве методологического основания и примененных впервые для исследования проблемы формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки вуза в контексте цифровой трансформации экономики. Выбранный в качестве уровня стратегической реализации трансферно-компетентный подход обеспечивает будущую интеграцию разрабатываемой концепции в существующие системы организации и реализации процесса профессиональной подготовки в вузах, разработанные на платформе компетентного подхода, дополняя последний возможностями учета трансформации предметных областей вследствие проникновения в них сквозных цифровых технологий. Поуровнево выделенные и сформулированные автором закономерности обеспечивают комплексный взгляд на рассматриваемую проблему, позволяя глубже понять взаимосвязи и влияние внутриличностных и внешних факторов, особенностей и движущих сил формирования конкурентоспособности обучающихся ИТ-направлений подготовки вузов в современных условиях. Предложенные впервые и уточненные принципы могут служить основополагающими требованиями к реализации рассматриваемого процесса при разработке образовательных программ и их методического обеспечения.

Список литературы

1. Современный словарь по педагогике: справочное издание / Сост. Рапацевич Е.С. Минск: Современное слово, 2001. 928 с.
2. Яковлев Е.В., Яковлева Н.О. Педагогическая концепция: методологические аспекты построения. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2006. 239 с. URL: <https://journal.midis.ru/books/13/564/> (дата обращения: 26.02.2025).
3. Курзаева Л.В., Савва Л.И. Организационно-педагогические условия развития конкурентоспособности будущих ИТ-специалистов // Сибирский педагогический журнал. 2008. № 7. С. 53–63.
4. Роберт И.В. Развитие дидактики в условиях цифровой трансформации образования // Инновационные процессы в высшем и среднем профессиональном образовании и профессиональном самоопределении: сборник научных трудов. М.: Экон-Информ, 2024. С. 347–362.
5. Сохранов-Преображенский В.В. Самоорганизация личностного потенциала как фактор эффективной профессиональной подготовки студентов вуза // Педагогическое образование и наука. 2022. № 6. С. 115–120. DOI: 10.56163/2072-2524-2022-6-115-120.
6. Рахинский Д.В., Лунев В.В., Лунева Т.А., Щебляков Е.С. Принципы проектирования учебного процесса в условиях самоорганизации студентов: синергетический подход // Педагогика и просвещение. 2021. № 2. С. 32–39. DOI: 10.7256/2454-0676.2021.2.35320.
7. Еремина И.И., Лысанов Д.М. Практическая подготовка ИТ-специалистов в вузах в условиях цифровой экономики // Экономика и предпринимательство. 2024. № 6 (167). С. 1334–1337. DOI: 10.34925/EIP.2024.167.6.275.
8. Варавва М.Ю. Подготовка ИТ-специалистов: ключевые ограничения Российской системы высшего образования // Образовательные ресурсы и технологии. 2024. № 1(46). С. 7–16. DOI 10.21777/2500-2112-2024-1-7-16.
9. Агошков А.И., Курочкин П.А., Батумски В.Ю. Трансфер отечественных технологий: векторы развития компетенций инженерной молодежи // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2023. № 2(140). С. 103–107.
10. Кудряшова Е.В., Сорокин С.Э. Трансфер знаний как форма реализации «третьей миссии» университета // Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки. 2019. № 3. С. 92–98.
11. Ларкина Н.Г., Некрасова В.В., Овчаренко Г.В. Трансфер инновационных знаний и отечественных технологий в контексте развития новой модели экономики // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2021. № 2. С. 40–47. DOI: 10.22394/2079-1690-2021-1-2-40-47.
12. Роберт И.В. Основные характеристики дидактики периода цифровой трансформации образования // Педагогическое образование и наука. 2024. № 6. С. 18–25. DOI: 10.56163/2072-2524-2024-6-18-25.
13. Роберт И.В. Цифровая трансформация образования: ценностные ориентиры, перспективы развития // Россия: тенденции и перспективы развития. 2021. № 16-1. С. 868–876.
14. Рабинович П.Д., Заведенский К.Е., Лопатина Е.А., Емелин Г.Д., Долганов Д.Н. Модель потенциала человека и практики его развития // Высшее образование в России. 2024. Т. 33, № 12. С. 50–79. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-12-50-79.
15. Рабина Е.И., Дерина Н.В. Влияние умения выпускников вуза организовывать свое время на уровень их конкурентоспособности // Гуманитарно-педагогические исследования. 2021. Т. 5, № 2. С. 22–26. DOI: 10.18503/2658-3186-2021-5-2-22-26.
16. Ляндау Ю.В., Буткевич А.С. Особенности управления ИТ-проектами // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. 2023. Т. 20, № 3 (129). DOI: 10.21686/2413-2829-2023-3-147-154.
17. Крежевских О.В. Нелинейное высшее образование: методология, закономерности и возможность внедрения в практику // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2020. № 1. С. 48–56. DOI: 10.17238/issn1998-5320.2020.39.48.

УДК 378.147.34

DOI 10.17513/snt.40377

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕШАННОЙ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ЛЕЧЕБНОГО ФАКУЛЬТЕТА МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА

Лебедев А.Ю., Тихоненков С.Н., Власов А.В.,
Дубровин Г.М., Прокофьева Ю.В.

ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет»,
Курск, e-mail: alexlebedev32@gmail.com

Цель работы – оценка опыта применения различных форм и объемов дистанционного обучения студентов лечебного факультета медицинского вуза. Материалами данного исследования стали результаты финальной оценки промежуточной аттестации студентов пятого курса лечебного факультета в период с 2020 по 2021 и с 2021 по 2022 г., когда смешанный формат обучения находился в тестовом режиме. В настоящее время подобный формат применяется в ежедневной практике преподавания кафедры травматологии и ортопедии Курского государственного медицинского университета. Применялись статистические методы оценки успеваемости студентов: так, оценивался средний балл в течение практических занятий, практический балл за сдачу практических навыков, оценка за дисциплинарный экзамен, также вычислялись медианные показатели в исследуемых выборках, сравнение с целевыми показателями. По результатам исследования было выявлено, что средний балл студентов, находящихся на дистанционном обучении, оказался выше, чем средний балл обучающихся очного формата. Однако при оценке практических навыков средний балл студентов очной формы обучения оказался определенно выше, чем у обучающихся дистанционно. Удовлетворенность гибридной формой с превалированием дистанционного обучения оказалась ниже, чем в группе со смешанной формой обучения, где самостоятельное образование занимает менее трети времени, что говорит о профессиональной мотивированности обучающихся. Начиная с периода пандемии и, как следствие, при невозможности постоянного проведения очных занятий стали активно развиваться технологии виртуальных и симуляционных школ и клиник. Однако присутствие студента для освоения исследуемых клинических методик и практических навыков обязательно для подготовки высококвалифицированного специалиста. По результатам оценки удовлетворенности студентов Курского государственного медицинского университета смешанным форматом обучения и изучению успеваемости было определено, что применение подобного формата является наиболее сбалансированным. Смешанный формат обучения подразумевает предоставление лекционного материала на виртуальных площадках и проведение практических вербальных занятий с практикой у постели больного. В результате этого повышаются экономические аспекты эффективности образования, возможности персонализированного донесения информации.

Ключевые слова: смешанное обучение, медицинский вуз, студенты, учебно-методическое пространство

EXPERIENCE OF APPLICATION OF THE MIXED PEDAGOGICAL MODEL OF TEACHING STUDENTS OF THE MEDICAL FACULTY OF A MEDICAL UNIVERSITY

Lebedev A.Yu., Tikhonenkov S.N., Vlasov A.V., Dubrovin G.M., Prokofeva Yu.V.

Kursk State Medical University, Kursk, e-mail: alexlebedev32@gmail.com

The aim of the work is to evaluate the experience of applying different forms and amounts of distance learning to students of the medical faculty of a medical university. The materials of this study were the results of the final evaluation of the interim assessment of the 5th year students of the Faculty of Medicine in the period from 2020 to 2021, from 2021 to 2022, when the blended learning format was in test mode. Currently, such a format is used in the daily practice of teaching by the Department of Traumatology and Orthopedics of Kursk State Medical University. The statistical methods of evaluation of students' performance were applied, so the average score during practical classes, practical score for passing practical skills, score for disciplinary examination were evaluated, also the median indicators in the studied samples were calculated, comparison with the target indicators. The results of the study revealed that the mean score of distance education students was found to be higher than the full-time students. However, in the assessment of practical skills, the mean score of the full-time students was definitely higher than that of the distance learners. Satisfaction with the hybrid form with the prevalence of distance learning was lower than in the group with the mixed form of learning, where independent education takes less than a third of the time, which indicates the professional motivation of the learners. Since the period of pandemic and, as a consequence, the impossibility of constant face-to-face classes, technologies of virtual and simulation schools and clinics have been actively developed. However, the presence of a student to master the clinical techniques and practical skills under study is mandatory for the training of a highly specialized specialist. According to the results of the assessment of satisfaction of students of Kursk State Medical University with the blended learning format and the study of academic performance, it was determined that the use of such a format is the most balanced. The blended learning format implies the provision of lecture material on virtual platforms and practical verbal classes with practice at the patient's bedside. As a result, the economic aspects of education efficiency and the possibilities of personalized information delivery are increased.

Keywords: blended learning, medical university, students, teaching and learning space

Введение

Система здравоохранения Российской Федерации в последние десятилетия претерпевает значительные изменения как в сфере практической деятельности, так и в требованиях к новым трудовым кадрам [1]. Изменения условий труда, профессиональных компетенций врачей обуславливают серьезные «глубинные» изменения системы подготовки молодых специалистов [2]. Современное образовательное пространство медицинской сферы, несмотря на кажущуюся консервативность и возможную инертность, является довольно быстро развивающейся отраслью педагогической науки. Происходит планомерное, постоянное реформирование высшей медицинской школы. Новые федеральные стандарты обучения задают новый вектор в подготовке молодых врачей, для их профессионального соответствия современным достижениям медицинской науки и практики. Изменения в учебно-методическом пространстве вузов приобретают все более практическую направленность, повышают конкурентоспособность вчерашних выпускников медицинских вузов [3].

Высшая медицинская школа в последние несколько лет столкнулась с большим количеством сложностей. Период пандемии связан с продолжительным этапом нахождения студентов на дистанционном обучении, что для медицинской высшей школы связано с рядом трудностей [4, 5]. Большинство преподаваемых клинических дисциплин, к которым относится травматология и ортопедия, подразумевают объемную практическую работу студентов в условиях клиники. Ежедневная курация больных с применением получаемых знаний в практической сфере является для клинических специальностей жизненно необходимым условием [6]. Многие отрасли, преподаваемые в процессе подготовки врача, имеют строгую педагогическую структуру и трудно поддаются модификации к схемам преподавания и применения смешанных и гибридных педагогических технологий. Трудности внедрения инновационных методов обусловлены достаточно большим объемом преподаваемых дисциплин и наполненностью каждой из них числом академических часов.

Опыт применения полностью дистанционного обучения (более 90% времени отводится на самостоятельное обучение) сопровождался множеством проблем. Основной были сжатые сроки для подготовки учебно-методического обеспечения дисциплины при переходе на полностью дистанционный формат [7]. Разработка и информационное наполнение дистанционных образователь-

ных модулей не регламентируется стандартами, что приводит к разбалансированности содержания. Невозможность, несмотря на большое количество визуального образовательного контента, передать студентам практический опыт преподавателя является важным негативным моментом полностью дистанционного медицинского образования.

Проблемы недостаточного практического тренинга навыков при применении дистанционного или смешанного обучения возможно решить путем инсценировки различных клинических ситуаций в формате клинических кейсов. Обучение с использованием кейсов имеет ряд принципов, среди которых: использование разнообразных учебно-методических материалов; описание клинического случая от простых ситуаций к четкому алгоритму и принципам; рассмотрение клинических случаев подразумевает интеграцию обучающихся в реальную клиническую ситуацию (case-study). При повторных внедрениях данного метода и многократном использовании у обучающихся развивается навык практического применения умений в различных клинических ситуациях. Главным положительным аспектом применения кейсов является возможность интегрировать теоретические знания в практические навыки. Благодаря такому подходу развивается навык быстрой оценки ситуации, дифференциальный подход к решению вопроса с выбором подходящего варианта и алгоритма его применения.

Наполнение дистанционной образовательной среды клиническими кейсами различного содержания, от необходимости сформулировать диагноз, основываясь только на теоретических данных об определенном заболевании, до необходимости применения специализированных практических навыков, позволяют тематическим календарным планам занятий практически полностью соответствовать требованиям образовательных стандартов, предъявляемых к клинической дисциплине.

Образовательные стандарты, регулирующие учебно-методическое пространство преподаваемых дисциплин, расширяют требования к формированию четких практических компетенций при подготовке студентов по различным дисциплинам, в том числе клиническим. Одной из новых форм эффективных технологий обучения является проблемно-ситуативное обучение с использованием клинических кейсов. Внедрение учебных клинических кейсов в практику российского образования в настоящее время является весьма актуальной задачей. Оно позволяет вырабатывать методику постановки клинического диагноза и методы

оказания врачебной помощи, начиная от помощи на месте происшествия до окончательной специализированной помощи; формировать клиническое мышление, разрабатывать различные терапевтические стратегии лечения. Через клинический случай осуществляется связь теории с практикой, закрепляются и совершенствуются понятия о методах диагностики и лечения повреждений опорно-двигательной системы, определено повышается интерес обучающихся к изучению дисциплины «Травматология и ортопедия». Создаются условия, побуждающие к принятию и к применению самостоятельных решений, знаний и умений в экстренных жизненных ситуациях, к умению дискутировать, отстаивать свою точку зрения [8–10]. Данный образовательный прием позволяет применять во время обучения современные методы организации практических занятий, таких как case-based learning (CBL). В данном случае формируется проблемная ситуация на основе предложенного клинического кейса, однако работа над ним ведется малыми студенческими группами, с целью формирования различных фундаментальных и клинических точек зрения. Финальный результат решения клинического кейса в данном случае представляет собой некое коллегиальное решение, напоминающее «настоящий врачебный консилиум», и предусматривает несколько вариантов решения проблемы от каждой группы. Данная методика может применяться как для очной, так и гибридной и полностью дистанционной модели обучения. Положительным эффектом для преподавателя в применении данного подхода является возможность применения чек-листов для комплексной оценки как теоретической, так и практической части занятий. Во время составления клинического кейса имеется возможность «расставления» чек-пойнтов, или логически подготовленных этапов задания, позволяющих всесторонне оценить обучающегося по заранее подготовленным клиническим условиям. Большое количество изучаемых нозологий в процессе преподавания клинической дисциплины позволяет сформировать пул чек-листов по различным клинко-практическим ситуациям, с целью увеличения уровня практической подготовки студента, и избежать повторений при работе с группой студентов.

Использование системы кейсов на клинической кафедре является обязательной структурой процесса обучения, а также позволяет достичь необходимого качества в реализации профессионального изучения дисциплины в соответствии с федеральным государственным образовательным стан-

дартом последнего поколения [11]. Большинство современных применяемых клинических кейсов соответствуют требованиям клинических рекомендаций Минздрава РФ, поэтому, помимо прочего, подготавливают студентов к реальной клинической практике. В современной иерархии практической подготовки студентов на ведущих ролях остаются общепринятые методики, однако все более активно внедряются инновационные симуляционные блоки для отработки профессиональных практических компетенций. Преимуществами подобного формата обучения являются: повышение заинтересованности обучающихся в клинической дисциплине, стимулирование когнитивной деятельности обучающихся, развитие клинического мышления [12].

Смешанное обучение (около 30% времени отводится на самостоятельное обучение) также применялось в образовательном процессе. Так, лекционный курс всей дисциплины «Травматология и ортопедия» полностью проходил в дистанционном формате. Лекции проходили на площадках вебинаров.

При использовании смешанного обучения практически не возникало проблем с учебно-методическим обеспечением дисциплин, с визуальным сопровождением дистанционной части преподаваемой дисциплины [13–15]. Важным аспектом являлось применение неизменного лекционного материала при переходе в онлайн-формат.

Все эти аспекты трансформации педагогической модели, которые иногда, к сожалению, имели вынужденный характер применения, имеют как положительные, так и отрицательные аспекты.

Цель исследования – оценка опыта применения различных форм и объемов дистанционного обучения студентов лечебного факультета медицинского вуза.

Материалы и методы исследования

Материалами данного исследования стали результаты финальной оценки промежуточной аттестации студентов пятого курса лечебного факультета Курского государственного медицинского университета за 2020–2021, 2021–2022 учебные годы, когда применялось дистанционное и гибридное обучение, впервые применяемое в практике кафедры. А также результаты 2022, 2023, 2024 гг., когда применение гибридного формата обучения стало ежедневной практикой. В настоящее время большое количество студентов очной формы обучения участвует в волонтерской деятельности и помощи практическому здравоохранению, поэтому данная форма обучения часто становилась единственно возможной

для поддержания высокого качества образования и соответствия предъявляемым профессиональным стандартам.

В 2020–2021 учебном году форма образования являлась дистанционно-гибридной (до 90 % учебного времени проводилось онлайн), на обучении с использованием такой модели находилось 298 студентов, а учебный год 2021–2022 уже базировался на смешанной педагогической модели, данный вид обучения применялся к 286 студентам, с очными практическими занятиями и полностью дистанционным лекционным курсом. Формирование выборки производилось сплошным методом. Все исследуемые студенты одного курса обучались по единой программе подготовки. Количество респондентов в выборках близкое. На основании вышеприведенных данных результаты выборки являются репрезентативными

Для оценки эффективности различных образовательных моделей использовались данные о промежуточной аттестации студентов, по окончании обучения на кафедре. Данная оценка выбрана как объективный критерий оценки, так как на основании балльно-рейтинговой системы финальная оценка является комплексным показателем, учитывающим как текущую успеваемость, так и оценку за практические навыки дисциплины и собственно оценку за экзамен по дисциплине «Травматология и ортопедия».

Для оценки критериев общей эффективности различных форм педагогической модели применялись статистические методы оценки успеваемости студентов: так, оценивался средний балл в течение практических занятий, практический балл за сдачу практических навыков, оценка за дисциплинарный экзамен, также вычислялись медианные показатели в исследуемых выборках, сравнение с целевыми показателями.

Субъективный индекс удовлетворенности студентов образовательным процессом и предложенной моделью обучения оценивался на выбранном подходе «студент как потребитель образовательных услуг». Данная модель позволяет определить разницу между реально полученным результатом и ожиданиями студента. Для оценки удовлетворенности студентов формой обучения в периоды с 2021 по 2022 и с 2023 по 2024 г. с различными формами педагогической модели проводилось онлайн-анкетирование студентов. Одним из его основных аспектов была анонимность для исключения ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Все полученные данные заносились в программу в виде электронных баз, с целью дальнейшего статистического анализа и построения выводов.

Результаты исследования и их обсуждение

Результатом профессиональной и теоретической подготовки на кафедре травматологии и ортопедии является успешная сдача экзамена. Однако важным аспектом, формирующим финальный балл, является успеваемость студента в течение семестра. Так, для студентов, занимавшихся только в дистанционном формате, средний балл составил 4,32, что является довольно высоким показателем, учитывая довольно большую выборку случаев. Медианный показатель составлял 4,1. Для студентов, занимавшихся очно, данный показатель составлял 3,87, в данной группе наиболее часто встречающийся результат составил 3,65. Процент посещенных лекций для студентов только дистанционной формы обучения составил около 74, для всего лекционного курса, состоящего из 14 лекций. Для студентов смешанной формы обучения лекции также проходили в дистанционном формате, и процент посещенных лекций оказался даже несколько выше – 76 при равном количестве проведенных лекций.

Принципиально важными являлись показатели положительной сдачи практических навыков дисциплины, с учетом подготовки первой группы студентов в дистанционном формате. Так, средний балл данного этапа промежуточной аттестации составил только 3,67, тогда как в группе очно занимавшихся студентов данный показатель уже равнялся 4,1. Данные о медианных показателях в группе занимавшихся по гибридной системе – 3,4, а в группе смешанной модели обучения – 3,9 свидетельствуют о более высоком среднем уровне практической подготовки данных студентов.

Рассматривая критерии удовлетворенности моделями образования самими студентами, в группе гибридной модели обучения данный показатель находился в коридоре от «удовлетворен» (27 % респондентов) до «более чем удовлетворен» (31 % опрошенных) студентов, результат «полностью удовлетворен» наблюдался не более чем в 4 % анкет. В группе же смешанной модели обучения, снижается процент минимально удовлетворенных студентов, до 17 %, и значительно возрастает число полностью удовлетворенных опрошенных, до 18 %, что, возможно, говорит о сильной профессиональной мотивированности студентов и их понимании совершенной необходимости вербального контакта с преподавателем для усвоения практической части клинической дисциплины.

Заключение

Применение дистанционного формата обучения во многих вузах зарекомендовало себя как практичная и полезная методика образования. Тем не менее для медицинского вуза это представляет ряд проблем. Обучение на кафедрах клинического профиля обязывает к использованию практического блока. Внедрение системы кейсов на кафедре травматологии и ортопедии позволяет в должной мере реализовать процесс обучения, повысить удовлетворенность студентов приобретаемыми навыками и компетенциями, способствовать получению должных профессиональных знаний обучающихся.

В медицинской педагогике, особенно клинического профиля, отчасти совершенно невозможно применение истинно гибридного подхода к обучению (более 50 % времени обучения происходит в онлайн-режиме), катастрофически невозможно, несмотря на наличие большого количества визуализирующего контента, подготавливать и тренировать необходимые и обусловленные образовательным стандартом практические и мануальные навыки.

Хотя в данное время активно развиваются технологии виртуальных и симуляционных школ и клиник, присутствие студента для эмуляции исследуемых методик и навыков обязательно. Поэтому видится наиболее сбалансированным применение так называемого смешанного обучения, с предоставлением лекционного материала на виртуальных площадках и практических вербальных занятий с практикой у постели больного. Несомненным плюсом смешанной модели обучения является экономия времени для студентов, экономические аспекты, возможности персонифицированного донесения информации.

Относительная консервативность педагогических моделей медицинского образования, с одновременной гибкостью методических подходов и применением достижений современных способов виртуальной коммуникации, видятся авторам дальнейшим вектором развития данной отрасли педагогики, конечной целью которой является подготовка высококвалифицированных специалистов для нужд здравоохранения Российской Федерации.

Список литературы

1. Астанина С.Ю. Типы и виды учебно-профессиональных задач в фундаментальной подготовке врачей // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7, № 4 (25). С. 293–299. DOI: 10.24411/2309-4370-2018-14302.
2. Астанина С.Ю. Вопросы реформирования профессионального медицинского образования в России // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022. Т. 21, № 1. С. 107–109. DOI: 10.15829/1728-8800-2022-3192.
3. Пшукова Е.М., Мирзоева Н.М. Принципы и основные признаки интерактивных методов обучения и применения современных методических подходов к преподаванию гистологии, цитологии и эмбриологии в медицинском вузе // Наука России: Цели и задачи: сборник научных трудов по материалам XXV международной научной конференции (Екатеринбург, 10 февраля 2021 г.). Ч. 1. Екатеринбург: НИЦ «Л-Журнал», 2021. С. 24–29. DOI: 10.18411/sr-10-02-2021-06.
4. Rokhgireh S., Sabet B., Chaichian S., Derakhshan F., Haghighi L., Derakhshan R., Kohan N. Medical students' perceptions towards distance e-Learning in gynecology ward during the COVID-19 pandemic // PLoS One. 2023. Vol. 18, Is. 3. P. e0283253. DOI: 10.1371/journal.pone.0283253.
5. Сетко Н.П., Булычева Е.В. Особенности психоэмоционального состояния у студентов медицинского университета в условиях дистанционного обучения // Медицинское образование и профессиональное развитие. 2021. Т. 12, № 1 (41). С. 109–116. DOI: 10.33029/2224-84.53-2021-12-1-109-115.
6. Романова Т.Е., Родина А.А., Романов С.В., Абаева О.П. Оценка качества подготовки студентов медицинских вузов в период пандемии COVID-19 для будущей работы в практическом здравоохранении // ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучения. Вестник ВШОУЗ. 2022. Т. 8, № 1 (27). С. 75–81. DOI: 10.33029/2411-8621-2022-8-1-75-81.
7. Закревская С.Б. Особенности методической деятельности преподавателя современного медицинского вуза // Человек и образование. 2021. № 2 (67). С. 111–115. DOI: 10.54884/S181570410019612-8.
8. Тихоненков С.Н., Лебедев А.Ю., Дубровин Г.М. Использование проблемно-ситуативного обучения на кафедре травматологии и ортопедии КГМУ // Коллекция гуманитарных исследований. 2022. № 4 (33). С. 31–35. DOI: 10.21626/jchr/2022-4(33)/4.
9. Ghasempour S., Esmaeeli M., Abbasi A., Hosseinzadeh A., Ebrahimi H. Relationship between academic success, distance education learning environments, and its related factors among medical sciences students // BMC Med Educ. 2023. Vol. 23, Is. 1. P. 847. DOI: 10.1186/s12909-023-04856-3.
10. Watson S. Closing the feedback loop: ensuring effective action from student feedback // Tertiary Education and Management. 2003. Vol. 9. P. 145–157. DOI: 10.1080/13583883.2003.9967099.
11. Arain S.A., Ali M., Arbili L., Ikram M.F., Kashir J., Omair A., Meo S.A. Medical Students and Faculty Perceptions About Online Learning During COVID-19 Pandemic: Alfaisal University Experience // Front Public Health. 2022. Vol. 10. P. 880835. DOI: 10.3389/fpubh.2022.880835.
12. Oyeleye O.A. Remote Learning for Medical Students in Nigeria During a Pandemic // Acad Med. 2021. Vol. 96, Is. 1. P. e2-e3. DOI: 10.1097/ACM.0000000000003785.
13. Gismalla M.D., Mohamed M.S., Ibrahim O.S.O., Elhassan M.M.A., Mohamed M.N. Medical students' perception towards E-learning during COVID-19 pandemic in a high burden developing country // BMC Med Educ. 2021. Vol. 21, Is. 1. P. 377. DOI: 10.1186/s12909-021-02811-8.
14. Ashour O., Alkhatib A.M., Zureikat Q.A., Al-Shaikhli M., Ata B.B., Massad T., Al-Huneidy L., Al-Sabbagh M.Q., Al-Ani A. Investigating medical students' satisfaction towards video-based learning versus face-to-face lectures: a Jordanian tertiary teaching hospital experience // Korean J Med Educ. 2023. Vol. 35, Is. 1. P. 21–32. DOI: 10.3946/kjme.2023.246.
15. Etoom M., Aldaher K.N., Abdelhaq A.A., Alawneh A., Alghwiri A.A. Distance learning in physiotherapy education during the COVID-19 pandemic: students' satisfaction, perceived quality, and potential predictors of satisfaction // Physiother Theory Pract. 2023. Vol. 39, Is. 7. P. 1513–1518. DOI: 10.1080/09593985.2022.2042438.

УДК 378.14
DOI 10.17513/snt.40378

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ В МОРДОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Массеров Д.А., Каверин А.В., Вавилин Д.А., Вавилин Н.А.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: masserow@yandex.ru

Целью данного исследования является анализ влияния интеграции мобильных технологий в экологическое образование на формирование позитивного отношения обучающихся к данному направлению. В качестве основного метода исследования был применен дидактический подход, реализованный преподавателями Мордовского государственного университета в рамках образовательной программы по экологии с использованием мобильных устройств и QR-кодов. В статье представлен обзор ключевых концепций, таких как экологическое образование и мобильное обучение, а также описан образовательный эксперимент, основанный на активном использовании мобильных технологий. Результаты исследования демонстрируют, что применение мобильных технологий способствует повышению уровня осведомленности студентов об экологических проблемах и успешному решению образовательных задач. Оценка участников программы показала, что большинство студентов положительно оценили использование мобильных технологий в учебном процессе. Установленный рост уровня знаний об экологических проблемах подтверждает эффективность предложенного подхода. Результаты исследования имеют практическую значимость для преподавателей, специалистов в области экологического образования, а также для всех, кто заинтересован в интеграции мобильных технологий в образовательный процесс. Авторы предлагают рекомендации по повышению эффективности использования мобильных технологий в обучении и усилению экологической осведомленности студентов.

Ключевые слова: мобильное обучение, экологическое образование, умные мобильные устройства, QR-коды

THE USE OF MOBILE TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL EDUCATION: EXPERIENCE OF IMPLEMENTATION AT MORDOVIA STATE UNIVERSITY

Masserov D.A., Kaverin A.V., Vavilin D.A., Vavilin N.A.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: masserow@yandex.ru

The aim of this research is to analyse the influence of integration of mobile technologies into environmental education on the formation of positive attitude of students to this direction. The didactic approach implemented by the teachers of Mordovian State University within the framework of the educational programme on ecology with the use of mobile devices and QR codes was applied as the main research method. The article presents an overview of key concepts such as environmental education and mobile learning and describes an educational experiment based on the active use of mobile technologies. The results of the study demonstrate that the use of mobile technologies contributes to the students' awareness of environmental issues and to the successful solution of educational tasks. The evaluation of the programme participants showed that the majority of students positively evaluated the use of mobile technologies in the educational process. The established increase in the level of knowledge about environmental problems confirms the effectiveness of the proposed approach. The results of the study have practical significance for teachers, specialists in the field of environmental education, as well as for all those who are interested in integrating mobile technologies into the educational process. The authors offer recommendations on how to improve the effectiveness of using mobile technologies in teaching and enhance students' environmental awareness.

Keywords: mobile learning, environmental education, smart mobile devices, QR codes

Введение

Использование мобильных технологий для поддержки учебного процесса связано с развитием новых требований XXI в. Хотя учебные навыки XXI в. могут состоять из множества компонентов, именно контекст использования мобильных технологий определяет креативность, сотрудничество, трансформацию знаний и исследовательские подходы к обучению. Соответственно, использование мобильных устройств и приложений в обучении привлекает большое внимание исследователей и педагогов, поскольку они ищут новые, инновационные способы

применения мобильных технологий, которые обещают изменить образование [1].

Мобильная технология (M-learning) – это инструмент, который может изменить природу обучения. Использование QR-кодов (сокращенно от Quick Response code) в сфере образования может сыграть важную роль, особенно в процессе внедрения технологий в образовательную деятельность. В результате в последние годы QR-коды используются на всех уровнях образования, от начального до высшего, на курсах по различным предметам.

Мобильное обучение подразумевает использование мобильных технологий как

отдельно, так и в сочетании с другими видами информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) для содействия обучению без пространственных и временных ограничений.

Интеграция ИКТ в процесс преподавания и обучения расширяет образовательный опыт, делая аудитории более восприимчивыми к потребностям и интересам обучающихся. ИКТ могут повысить эффективность и результативность обучения, зачастую создавая более ориентированную на студента учебную среду, способствующую активному участию и глубокому вовлечению в процесс обучения [1]. QR-коды связывают физический и виртуальный миры. Таким образом, QR-коды могут способствовать экспериментальному обучению, предоставляя возможность доступа к учебному контенту вне формального учебного контекста. Концепция доступа к информации независимо от физического присутствия, хотя и не нова, но переосмыслена с помощью QR-кодов, поскольку впервые простота создания информации сочетается с прямым и легким доступом к ней.

Экологическое образование традиционно предлагает множество увлекательных и инновационных методических подходов, таких как активное вовлечение и экспериментальное обучение. По сути, это междисциплинарный экспериментальный подход к осознанию гражданами экологических проблем, как природных, так и антропогенных. Сегодня осознается важность принятия необходимых мер для решения местных и глобальных проблем, связанных с окружающей средой и устойчивым развитием.

Экологическое образование строится вокруг ключевого понятия «окружающая среда» и представляет собой одну из основных мировых проблем, способствующих формированию новых моделей поведения у людей, групп и обществ [2]. Экологическое образование способствует целостному подходу для изучения окружающей среды, а также рассмотрения экологических проблем в части сохранения окружающей среды. Центральное место в экологическом образовании занимает образование в интересах устойчивого развития, поскольку оно помогает обучающимся приобрести знания, навыки, установки и ценности, необходимые для обеспечения устойчивого будущего человечества на местном и глобальном уровнях [3]. Экологическое образование, независимо от уровня образования, направлено на достижение следующих целей:

- экологическое сознание, взаимоотношения между человеком и окружающей средой и экологическими проблемами;

- приобретение экологических знаний, базовые знания об экологических системах и знание экологических проблем;

- развитие позитивных установок и ценностей в отношении окружающей среды;

- развитие конкретных навыков, компетенций для решения экологических проблем и осуществления экологических действий;

- исследование действий и участие в решении экологических проблем местного, регионального, национального и международного масштаба.

Одной из наиболее фундаментальных определяющих характеристик эффективного экологического образования является необходимость того, чтобы к предметам или объектам деятельности подходили с помощью всех наук на уровне знаний и практики высшей школы [3]. На акцентирование этой характеристики указывает неоднократно использование таких терминов, как широконаучный, междисциплинарный, кросс-объектный и т.д. В частности, междисциплинарность в экологическом образовании направлена на разработку новых интегрированных методологий с системным подходом, которые станут инструментом для решения конкретных экологических проблем.

Цель исследования – выяснить оценку влияния мобильных технологий на повышение эффективности образовательного процесса, развитие экологической грамотности и формирование профессиональных компетенций у студентов.

Таким образом, в рамках исследования была выдвинута гипотеза: использование мобильных технологий в программе экологического образования не окажет влияния на повышение удовлетворенности студентов в отношении экологических программ.

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование проводилось в течение 2023–2024 учебного года. Выборка состояла из 50 студентов (30 мужчин и 20 женщин), которые учились на первом курсе института геоинформационных технологий и географии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва». Средний возраст обучающихся составлял 20,2 года. В период проведения исследования 50 студентов обучались по направлению «Экология и природопользование».

Две группы студентов обучались, следуя предписанным методическим подходам и используя типичное университетское оборудование (компьютерный класс, видеопроектор и т.д.). Однако в области ИКТ различные мероприятия были адаптированы таким образом, чтобы широко использовать мобильные технологии (умные мобильные

устройства и QR-коды). У каждой группы был свой преподаватель.

Студенты выполняли все задания в течение учебного года в соответствии с намеченными методическими подходами и первоначальным замыслом преподавателей. В качестве основных методических инструментов использовался план работы. Большинство видов деятельности обучающиеся осуществляли в учебное время. На еженедельных двухчасовых встречах студенты выполняли различные виды работ, такие как поиск и сортировка цифровых и печатных материалов для обучения. Кроме того, в соответствии с расписанием программы были организованы посещения отдельных достопримечательностей г. Саранска.

Хорошо известно, что обучение через игру позволяет использовать методы, приемы и подходы, которые отвечают потребностям и опыту современных студентов, а значит, позволяют вовлечь их в процесс обучения. По этой причине исследователи объединили игровые подходы с использованием ИКТ в группе студентов. Сочетание игр и образования создает насыщенную среду обучения, которая не только эффективна, но и увлекательна [4]. Цель состояла в том, чтобы помочь студентам развить экологические знания, а также помочь им взять под контроль собственное обучение и укрепить свои учебные стратегии.

Помимо вышеперечисленных направлений методической реализации, ключевой задачей было использование мобильного обучения. В ходе программы авторы стремились широко использовать мобильные приложения и особенно QR-коды. Цель исследователей заключалась в интеграции и использовании цифровых ресурсов и печатных материалов с помощью QR-кодов. QR-коды использовались для кодирования цифровых ресурсов (например, веб-ссылки, изображений, текста и т.д.), а умные мобильные устройства использовались в целях отображения цифровых источников, сохранения учебно-методических материалов и файлов, содержащих метаданные, необходимые для выполнения заданий и анализа полученной информации. Поскольку QR-коды позволяют быстро и легко получить доступ к цифровым ресурсам, студенту достаточно навести камеру мобильного устройства на код, чтобы мгновенно перейти к нужному материалу (веб-странице, изображению, тексту и т.д.). Это значительно быстрее, чем вручную вводить длинные гиперссылки или искать информацию в интернете. Ввод длинных гиперссылок вручную может быть утомительным, раздражающим и, кроме того, ошибочным, особенно

если ссылки сложные или содержат множество символов.

На следующем этапе началось использование QR-кодов в университетской среде и за ее пределами. В частности, для выбора подотраслей программы с помощью QR-кодов был проведен опрос среди студентов. Обучающиеся собирали в проекционном зале, где были компьютер, проектор. Исследователи разработали онлайн-систему ответов, которая была основана на использовании QR-кодов и ответов студентов через их мобильные устройства в качестве электронной системы голосования. С помощью видеопроектора преподаватель представлял студентам варианты голосования в виде QR-кодов, а студенты голосовали с помощью своих мобильных устройств (выбирая соответствующий QR-код). Во избежание технических неполадок обучающиеся также имели доступ к тем же QR-кодам в распечатанном виде. Ответы студентов собирались на веб-сервере. Студенты имели доступ к статистике в режиме реального времени, например к наиболее популярным темам и их индивидуальным предпочтениям.

Также в рамках исследования, описанного в статье, был проведен эксперимент, в котором обучающиеся отмечали свою посещаемость с использованием QR-кодов. Этот эксперимент был частью более широкого анализа, направленного на интеграцию мобильных технологий в образовательный процесс. В начале каждого занятия преподаватель размещал QR-код на экране проектора или на физическом носителе. Студенты сканировали QR-код с помощью своих мобильных устройств, что автоматически фиксировало их присутствие на занятии. Данные о посещаемости передавались на сервер в режиме реального времени, где они сохранялись для дальнейшего анализа.

Перед проведением исследования и на протяжении всего исследования тщательно учитывались этические соображения и рекомендации, касающиеся неприкосновенности частной жизни и других соответствующих этических аспектов в социальных исследованиях. Требования, касающиеся информирования, информированного согласия, конфиденциальности и использования данных, были тщательно соблюдены как в устной, так и в письменной форме путем информирования сотрудников института и студентов о целях исследования и их правах воздержаться или отказаться от участия.

Результаты исследования и их обсуждение

Степень удовлетворенности студентов измерялась по пятибалльной шкале типа

Лайкерта. Студенты также имели возможность написать свои предложения с помощью открытых вопросов. Анкеты были анонимными. Анализ ответов студентов показал, что 68% опрошенных в двух группах в целом считают свое участие в программе полезным, 28% заявили, что необходимы доработки в работе с QR-кодом, 4% остались неудовлетворенными. Предпочтения студентов не зависели от их пола, и практически аналогичные результаты были получены в отношении их удовлетворенности участием в программе. Высокий уровень удовлетворенности в рамках влияния ИКТ свидетельствует о заинтересованности в использовании студентами технологий мобильного образования. Многие из них подчеркнули, что внедрение мобильных технологий в образовательный процесс значительно повысило их интерес к учебе. Действующие результаты подтверждают гипотезу, согласно которой использование мобильных технологий в экологическом образовании способствует росту удовлетворенности студентов, что особенно актуально, учитывая, что традиционные подходы к обучению не всегда соответствуют запросам современного поколения.

Одной из причин такого несоответствия является то, что современные студенты воспитывались в условиях устаревших образовательных моделей. В связи с этим исследователи решили интегрировать в учебный процесс современные технологии через смартфоны. В частности, были выбраны QR-коды как гибкое, надежное и экономичное решение, требующее минимальных усилий для использования. Большинство студентов положительно отозвались о применении QR-кодов, отметив, что им понравилось получать учебные материалы за пределами аудитории, например на природе или возле учебных корпусов. Они также оценили, что информация не ограничивалась стандартными учебниками.

Но также следует заметить, что наиболее проблемной стороной в рамках исследования стало применение QR-кодов, которые ссылались на файлы с метаданными. Так, несмотря на рекомендации по использованию мобильных устройств в качестве посредников между источником и персональным компьютером обучающегося, было выявлено, что значительная часть опрошиваемых, 45%, столкнулась с такими проблемами, как:

- попытка открытия файлов в неподходящих приложениях;
- происходило случайное удаление, редактирование или неполное копирование файлов, что приводило к некорректному функционированию.

Процесс отметки посещаемости с использованием QR-кодов занял в среднем 1–2 минуты на занятии, что значительно быстрее традиционных методов (например, переключки или подписи в журнале). Студенты отметили, что такой способ отметки посещаемости был удобным и современным. Использование QR-кодов позволило минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором (например, пропуск студентов при переключке или неправильное заполнение журнала). Эксперимент показал, что успешное внедрение QR-кодов требует стабильной работы мобильных устройств и хорошего интернет-соединения.

Но было выявлено, что в среднем 90% (45 обучающихся) справляются с данным действием, не испытывая проблем, 10% (5 обучающихся) или столкнулись с техническими проблемами (долгая загрузка приложений, их неисправность), или просто игнорировали QR-код.

Несмотря на некоторые технические сложности, студенты проявили большой интерес к использованию QR-кодов и выразили желание продолжить этот опыт в следующем учебном году. Авторы считают, что QR-коды могут стать эффективным способом вовлечения студентов в образовательный процесс, делая его более динамичным и интересным. Однако важно помнить, что ИКТ способствуют полноценному обучению только при условии активного участия студентов в процессе, который должен быть конструктивным, контекстуальным, рефлексивным и социальным [5].

Как и любая новая технология, QR-коды имеют свои недостатки. В ходе исследования были выявлены четыре основные проблемы, которые могут повлиять на их дальнейшее внедрение в образование. Во-первых, не все студенты умеют работать с QR-кодами. Во-вторых, разнообразие мобильных устройств с меняющимися техническими характеристиками будет создавать сложности. В-третьих, некоторые студенты не сразу понимали, что после сканирования QR-кода они автоматически получают доступ к контенту. Несколько человек даже удалили приложение для считывания QR-кодов, ошибочно полагая, что оно не работает, из-за неправильного использования. В-четвертых, обучающиеся, применяя мобильные устройства, сталкиваются с соблазном не выполнять поставленную преподавателями задачу, а сидеть в социальных сетях, играх и т.п.

Несмотря на выявленные технические сложности (периодические сбои приложений для считывания QR-кодов, неоптимизированный контент для мобильных

устройств, внешние факторы, такие как освещение), ключевой фокус на формировании позитивного отношения к экологическому образованию сохранился. Анализ обратной связи показал, что даже при наличии барьеров студенты воспринимали использование мобильных технологий как инновационный и мотивирующий опыт. Например, 72 % участников отметили, что интерактивность заданий и возможность обучения вне аудитории усилили их интерес к дисциплине, несмотря на временные трудности. Это подтверждает, что технические аспекты, требующие доработки, не оказали решающего влияния на общее позитивное восприятие интеграции технологий в образовательный процесс.

Основным препятствием в реализации проекта стало разнообразие используемых мобильных устройств с различными техническими характеристиками. Особые сложности вызывали: устройства с небольшим размером экрана (менее 5 дюймов), устаревшие модели с низким разрешением дисплея, различия в операционных системах и версиях ПО. Примечательно, что, несмотря на первоначальные технические сложности, 78 % студентов отметили в анкетах, что процесс адаптации к мобильному формату занял не более двух-трех занятий. Это подтверждает гибкость современного образовательного процесса и готовность студентов осваивать новые технологии.

Несмотря на небольшой размер выборки, результаты исследования подтверждают выводы других работ о том, что QR-коды и мобильные технологии становятся популярным и полезным инструментом в современном образовании [6–8]. Использование мобильных технологий в экологическом образовании действительно помогает студентам лучше усваивать материал [9]. Как отмечают африканские исследователи [10], вовлечение студентов в информационно-коммуникационные технологии позволяет им проводить больше наблюдений, перенимать опыт экспертов и глубже погружаться в процесс обучения. Это может пробудить интерес к определенным темам и стимулировать дальнейшее желание учиться.

Для успешного внедрения мобильного обучения важно учитывать индивидуальные потребности студентов и обеспечить качественную и быструю обратную связь. Использование QR-кодов позволяет создать учебную среду, ориентированную на студента, выходящую за рамки традиционной аудиторной модели. Это также открывает возможности для внедрения инновационных методов совместного обучения. Благодаря таким технологиям студенты смогут

эффективнее экспериментировать, искать информацию, работать в команде, проявлять инициативу, дискутировать и развивать свои интересы. Это способствует формированию любви к обучению на протяжении всей жизни.

Это также открывает путь для внедрения инновационных методов совместного обучения. В результате применения таких технологий и соответствующих учебных мероприятий студенты смогли более эффективно экспериментировать и исследовать; искать и находить информацию; учиться работать в команде, быть организованными, проявлять инициативу, ставить цели, дискутировать, свободно мыслить и выражать свои идеи; развивать свои таланты, интересы и склонности; а также воспитывать в себе любовь к обучению на протяжении всей жизни.

Заключение

Проведенное педагогическое исследование в рамках экологического образования показало, что при разработке образовательных мероприятий с использованием мобильных технологий важно учитывать педагогические аспекты. Рекомендуется сосредоточить внимание на потребностях студентов, а не на самих технологиях. Если деятельность сосредоточена исключительно на технологиях, но при этом недостаточно продумана, она не сможет мотивировать обучающихся. Авторы предполагают, что преподавателям необходимы дополнительные примеры и руководства по использованию QR-кодов в образовательном контексте.

Следует понимать, что QR-коды, мобильные технологии и ИКТ в целом сами по себе не изменят процесс преподавания и обучения. Именно педагогическая практика преподавателей, которая может быть усилена благодаря использованию ИКТ, способна трансформировать образование. В заключение можно сказать, что QR-коды и мобильные технологии обладают значительным потенциалом для образовательной системы, но их эффективность зависит от грамотного сочетания технологий и творческого подхода преподавателей.

Список литературы

1. Шпак А.Е., Семенова Д.А. Мобильные технологии в образовательном процессе высшей школы: педагогический потенциал и аспекты использования // Вестник Марийского государственного университета. 2022. Т. 16, № 4 (48). С. 513–520. DOI: 10.30914/2072-6783-2022-16-4-513-520.
2. Каверин А.В., Массеров Д.А., Тесленок С.А., Алферина А.В., Ушаков И.С. К вопросу о важности экологической науки и образования для развития органического сельского хозяйства // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2022. № 4 (172). С. 64–68. URL: <https://ecfs.msu.ru/images/documents/analytics/Ispolzovanie-i-ohrana->

prirodnih-resursov-rossii/ИиОПРвР%20№4%202022.pdf (дата обращения: 20.02.2025).

3. Каверин А.В., Массеров Д.А. Роль экологического образования в устойчивом развитии общества // Интеграция образования. 2014. Т. 18, № 3 (76). С. 46–52. DOI: 10.15507/Inted.076.018.201403.046.

4. Массеров Д.А., Тарасова О.Ю., Вавилин Н.А., Массеров Д.Д., Каюков Д.А., Шеревкулов А.Д. Применение искусственного интеллекта в дополнительном эколого-географическом образовании обучающихся 9–11 классов // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 8 (146). URL: <https://research-journal.org/archive/8-146-2024-august/10.60797/IRJ.2024.146.154> (дата обращения: 20.02.2025). DOI: 10.60797/IRJ.2024.146.154.

5. Шубович В.Г. Педагогические условия применения мобильных технологий в образовательном процессе вуза // Вестник педагогических наук. 2022. № 4. С. 163–167. URL: <https://vpn-journal.ru/wp-content/uploads/2022/08/vestnik-pedagogicheskikh-nauk-4-2022.pdf> (дата обращения: 20.02.2025).

6. Crompton H. A historical overview of mobile learning: toward learner-centered education / Handbook of Mobile Learning. Routledge, Florence. 2013. P. 3–14. URL: https://www.researchgate.net/publication/263852116_A_historical_overview_of_mobile_learning_Toward_learner-centered_education (дата обращения: 20.02.2025).

7. Lai H.C., Chang C.Y., Wen-Shiane L., Fan Y.L., Wu Y.T. The implementation of mobile learning in outdoor education: application of QR codes // British Journal of Educational Technology. 2013. Vol. 44, Is. 2. P. 57–62. DOI: 10.1111/j.1467-8535.2012.01343.x.

8. Юрьева Д.В. Мобильное обучение в управлении знаниями: проблемы эффективности // Педагогика и просвещение. 2019. № 3. С. 69–74. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=30367 (дата обращения: 20.02.2025). DOI: 10.7256/2454-0676.2019.3.30367.

9. Юльметова Р.Ф., Малышева М.О., Сисюков А.Н. IT-технологии в экологическом образовании // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 4–1. С. 159–163. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37991> (дата обращения: 20.02.2025).

10. Ambe B.A., Agbor C.E., Amalu M.N. et al. Electronic media learning technologies and environmental education pedagogy in tertiary institutions in Nigeria // Social Sciences & Humanities Open. 2024. Vol. 9. 100760. DOI: 10.1016/j.ssaho.2023.100760.

УДК 376.37
DOI 10.17513/snt.40379

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЛОГОПЕДИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ УМЕНИЯ ДЕКОДИРОВАТЬ ФРАЗЕОЛОГИЗМЫ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С НЕДОРАЗВИТИЕМ РЕЧИ

Петрова Т.В.

*ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет»
Институт детства, Москва, e-mail: homyakova.t.v@mail.ru*

Цель работы – показать научной общественности результаты реализации модели логопедического воздействия по формированию умения декодировать речевые высказывания с фразеологизмами у младших школьников с недоразвитием речи. В данной статье раскрыты результаты научного исследования, посвященного разработке и реализации модели логопедического воздействия по формированию умения декодировать речевые высказывания, содержащие фразеологизмы, у младших школьников с недоразвитием речи. Научному сообществу представлена не только сама разработанная модель логопедического воздействия, но и описание ее содержания, отражены структурные особенности разработанной модели, а также этапы работы. Автором были учтены и описаны особенности и сложность предлагаемого речевого материала, последовательность вступления обучающихся в коррекционный процесс, виды и содержание оказываемой помощи. Представленные результаты экспериментального обучения изложены как в качественном, так и в количественном аспектах. Автором не только была проведена систематизация всех допущенных ошибок и выявлена их типология, но и была осуществлена статистическая обработка математических данных исследования, которая подтверждает эффективность применения разработанной модели. Модель логопедического воздействия содержит три блока по формированию умений декодирования поверхностного, общего и глубинного смысла высказываний. Обучающиеся с недоразвитием речи проходят обучение по данной модели в соответствии с необходимым уровнем речевых возможностей, дополняя свой уровень необходимым блоком по формированию умения декодировать речевые высказывания со скрытым смыслом, в составе которых есть фразеологизмы.

Ключевые слова: декодирование, модель логопедического воздействия, общее недоразвитие речи, речевые высказывания с фразеологизмами, младшие школьники

THE RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE SPEECH THERAPY MODEL FOR THE FORMATION OF THE ABILITY TO DECODE PHRASEOLOGICAL UNITS IN YOUNGER SCHOOLCHILDREN WITH SPEECH UNDERDEVELOPMENT

Petrova T.V.

*Moscow State Pedagogical University Institute of Childhood,
Moscow, e-mail: homyakova.t.v@mail.ru*

The purpose of the work is to highlight to the scientific community the results of the implementation of the model of speech therapy for the formation of the ability to decode speech utterances with phraseological units in younger schoolchildren with speech underdevelopment. This article reveals the results of a scientific study devoted to the development and implementation of a model of speech therapy for the formation of the ability to decode speech utterances containing phraseological units in younger schoolchildren with speech underdevelopment. The scientific community is presented not only the developed model of speech therapy, but also a description of its content, reflects the structural features of the developed model, as well as the stages of work. The author took into account and described the features and complexity of the proposed speech material, the sequence of students' entry into the correctional process, the types and content of the assistance provided. The presented results of experimental training are presented in both qualitative and quantitative aspects. The author not only systematized all the mistakes made and identified their typology, but also carried out statistical processing of the mathematical data of the study, which confirms the effectiveness of the developed model. The speech therapy impact model contains three blocks for the formation of skills for decoding the surface, general and deep meaning of utterances. Students with speech underdevelopment are trained according to this model in accordance with the required level of linguistic capabilities, supplementing their level with the necessary block for the formation of the ability to decode speech utterances with hidden meaning, which include phraseological units.

Keywords: decoding, the model of speech therapy, speech utterances with phraseological units, general underdevelopment of speech, primary school children

Введение

В настоящее время вектор школьного обучения направлен на формирование способностей ребенка не только знать и применять правила орфографии, уметь репродуцировать и продуцировать тексты различного уровня сложности, но и способностей уметь

декодировать смысл высказываний, содержащих различные лексические конструкции и средства выразительности. Таким образом, обучение ориентировано на формирование гармонично развитой личности, способной к осуществлению полноценного процесса коммуникации как со сверстниками, так

и со взрослыми, а также обладающей возможностями получать знания из различных информационных источников с вариативной лексической наполняемостью. В условиях речевой патологии реализация данной задачи встречает ряд сложностей, одной из которых является несформированность в условиях речевого дизонтогенеза процесса декодирования и продуцирования речевых высказываний со скрытым смыслом, содержащих фразеологизмы [1].

В настоящее время, учитывая условия и требования современного инклюзивного образования, следует уделить особое внимание трудностям овладения младшими школьниками с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) различными академическими знаниями [2, 3]. Особого внимания заслуживают дети с недоразвитием всех компонентов языковой системы при сохранном слухе и первично сохранном интеллекте, поскольку именно они составляют преобладающую часть младших школьников, требующих специально организованных образовательных мероприятий в общеобразовательных учреждениях. Процесс декодирования вербальной информации, а также специфика распознавания смыслов текстовых сообщений [4–6], способы формирования навыков понимания прочитанного, а также методики обучения чтению [7–9] в современной системе образования являются приоритетными направлениями как практической, так и научной деятельности в области специального (коррекционного) обучения учащихся с ОВЗ.

Как отмечает Л.В. Дубенчук, фразеологизмы не только придают речи выразительность и эмоциональность, но и наполняют ее образностью и национальным колоритом. Взаимодействие с фразеологическими оборотами способствует развитию связной речи, актуализирует и пополняет лексикон, помогает точнее передавать и транслировать собеседнику свои мысли и эмоции [10].

С.Н. Цейтлин в своих исследованиях экспериментально демонстрирует наличие дисбаланса между атипичным речевым развитием при сохранной когнитивной деятельности и вторично возникающими трудностями в освоении речезыковых компонентов и логико-грамматических операций языковой системы [11]. Как отмечает Е.В. Белобородова, на процесс декодирования скрытых смыслов у детей с недоразвитием речи влияет целый ряд трудностей, а именно недостаточность семантического структурирования, ошибки выявления скрытого смысла, дефицитарность в продуцировании вторичных наименований, ситуативность интерпретирования смысла и пр. [12].

Важными факторами являются личный опыт человека, уровень его лексикона (как в качественном, так и в количественном аспектах), владение грамматическим строем речи, уровень сформированности фонетико-фонологической компетентности и мотивация для осуществления данного процесса. Если хотя бы один компонент будет отсутствовать или не соответствовать возрастной норме, то распознавание смысла речевых высказываний может протекать с ошибками или не осуществиться полностью. Наиболее остро эта ситуация выявляется при взаимодействии с фразеологическими оборотами, обладающими не только специфической лексикой и грамматической константностью, но и скрытым смыслом [13–15].

Целями исследования являлись разработка для младших школьников с общим недоразвитием речи (ОНР) диагностической методики выявления и описания трудностей декодирования речевых высказываний, содержащих фразеологизмы, а также создание модели логопедического воздействия по преодолению выявленных специфических трудностей.

Материалы и методы исследования

В рамках педагогического исследования автором была разработана диагностическая методика выявления трудностей декодирования речевых высказываний со скрытым смыслом, в состав которых включены фразеологизмы. Для проведения диагностической методики были привлечены 120 младших школьников 9 лет с речевой патологией и 120 обучающихся с нормотипичным речевым развитием. Данная методика позволила выявить, описать и систематизировать ошибки декодирования речевых высказываний со скрытым смыслом. Диагностическая методика включала в себя две серии заданий, направленных на выявление уровня декодирования речевых высказываний со скрытым смыслом, в составе которых есть фразеологизмы: первая серия отражала умение оперировать скрытыми смыслами в рамках взаимодействия с предложениями, вторая серия раскрывала данное умение при взаимодействии с текстами. По результатам диагностической методики были применены методы математической статистики, позволившие автору наглядно доказать, что большинство обучающихся с недоразвитием речи допустили превалирующее число ошибок на уровне декодирования глубинного смысла речевых высказываний, а именно были зафиксированы трудности распознавания внутреннего смысла речевого сообщения, в отличие от уровней декодирования общего и поверхностного смыслов.

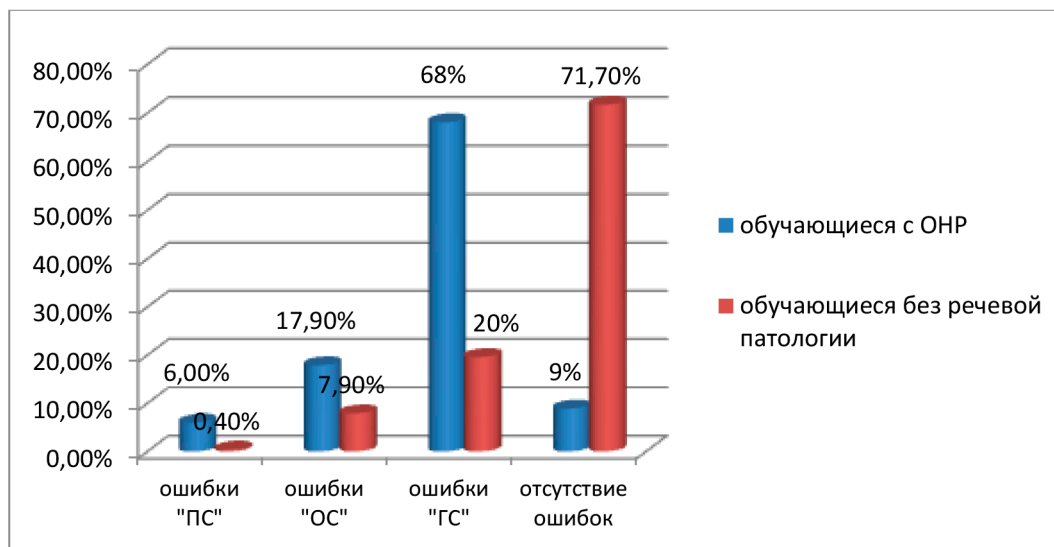


Рис. 1. Результаты выполнения детьми заданий двух серий эксперимента, % обучающихся

В рамках исследования автором была зафиксирована разница в уровне декодирования предложений и текстов у детей как с недоразвитием речи, так и с нормальным уровнем речевого развития, что подтвердило выдвигаемую гипотезу и способствовало созданию разноуровневой системы предъявления речевого материала, организованного как в форму предложений, так и в форму текстов, которые содержат фразеологизмы.

По результатам анализа данных диагностической методики автором были выделены четыре уровня сформированности способности декодирования речевых высказываний со скрытым смыслом. Отличительной чертой каждого из уровней является наличие специфической реализации распознавания скрытого смысла речевых высказываний с фразеологизмами. Автором были выявлены и описаны следующие уровни сформированности способности декодирования речевых высказываний со скрытым смыслом:

- оптимальный уровень, предполагающий безошибочное распознавание скрытых смыслов;
- недостаточный уровень, при котором допускается наличие ошибок декодирования глубинного смысла речевых высказываний (ошибки «ГС»);
- неудовлетворительный уровень, отличающийся преобладающим количеством ошибок декодирования глубинного и общего смысла речевых высказываний (ошибки «ГС» и «ОС»);
- критический уровень, характеризующийся наличием ошибок декодирования

как глубинного, общего, так и поверхностного смысла речевых высказываний (ошибки «ГС», «ОС» и «ПС»).

Проведенные анализ и статистическая обработка количественных показателей двух серий (рис. 1) выявили, что 71,7% учащихся с нормальным речевым развитием успешно выполнили предлагаемые задания, в отличие от их сверстников с речевой патологией, из которых только 8,9% смогли дать верные ответы. Автором было описано значительное расхождение в цифровых эквивалентах между сериями заданий при сохранном ранжировании результатов по уровням декодирования, а именно самое большое количество неверных ответов отмечалось на уровне декодирования глубинного смысла высказывания в обеих группах школьников, самые малочастотные ошибки были связаны с уровнем декодирования поверхностного смысла высказываний.

На основании полученных показателей реализации диагностической методики автором была разработана модель логопедического воздействия по формированию умения декодировать речевые высказывания, содержащие фразеологизмы, для младших школьников с общим недоразвитием речи (III уровень речевого развития). Также автором был проведен анализ используемых в образовательной практике учебно-методических комплексов и данных о возможностях школьников к оперированию фразеологизмами. Были сформированы две группы (группа экспериментального обучения (ГЭО) и контрольная группа (КГ)) как для реализации разработанной модели, так и для проведения сравнительного ана-

лиза результатов независимой диагностики по итогам обучения. Каждую из выделенных групп составили по 60 обучающихся в возрасте 9–10 лет (младшие школьники третьего класса общеобразовательной школы), проходящих обучение по АОП 5.1 (Адаптированной образовательной программе), согласно заключениям ЦПМПК.

Школьники КГ посещали традиционные логопедические занятия по устранению нарушений устной и письменной речи. Обучающиеся ГЭО, помимо этого, получали логопедическую помощь с использованием разработанной модели.

Организация и содержание модели были представлены тремя последовательно реализуемыми этапами, отражающими логопедическую работу по формированию умений декодирования поверхностного, общего и глубинного смыслов высказываний. На каждом этапе автором реализовывалось несколько концептуально важных задач, решение которых в совокупности способствовало формированию необходимых умений. Так, для первого этапа «Формирование умений декодирования поверхностного смысла высказываний» основными разделами логопедической работы являлись: формирование понимания лексического состава фразеологических оборотов; семантизация фразеологизмов; формирование умения идентифицировать фразеологизмы при аудировании и чтении; формирование умения восстанавливать семантическую целостность высказываний, в составе которых есть фразеологизмы. Второй этап – «Формирование умений декодирования общего смысла высказываний» – включал в себя реализацию задач по формированию умений находить идентичные по смыслу предложения с фразеологическими оборотами, находить противоположные по смыслу предложения, в составе которых есть фразеологизмы, обобщать речезыковые конструкции с фразеологизмами одной лексической единицей. На третьем этапе – «Формирование умений декодирования глубинного смысла высказываний» – ключевыми разделами логопедической работы были: формирование способности декодировать и восстанавливать деформированные варианты текстов со скрытым смыслом, в составе которых есть фразеологизмы.

Для осуществления каждого этапа автором были разработаны специальные упражнения и задания, позволяющие проработать как уровень предложений, так и уровень текстов. Речевой материал подбирался с учетом не только возрастных и программных требований, но и с учетом речевых возможностей обучающихся.

С целью реализации дифференцированного подхода для каждого младшего школьника, вовлеченного в экспериментальное обучение, был определен этап вступления в коррекционно-развивающую работу. Определение этапа было обусловлено предварительно полученными результатами констатирующего исследования. Так, обучающиеся, которые испытывали трудности декодирования поверхностного смысла высказывания, проходили обучение по всем этапам разработанной модели; обучающиеся, допустившие ошибки на уровне декодирования общего смысла высказывания, дебютировали со второго этапа, минуя первый. Младшие школьники, испытывающие трудности с декодированием глубинного смысла высказывания, вовлекались в коррекционно-развивающую работу на третьем этапе. Организованная таким способом коррекционно-развивающая работа позволила обучающимся целенаправленно получить помощь на том уровне декодирования смысла, который не был сформирован или осуществлялся с затруднениями.

Разработанная модель не только содержит систему заданий и упражнений, но и включает компонент, связанный с организацией специализированных видов помощи в процессе логопедического воздействия, а именно: стимулирующая, организационная, направляющая, обучающая помощь. Процесс оказания помощи был организован последовательно в соответствии с потребностями и индивидуальными возможностями каждого обучающегося.

Результаты исследования и их обсуждение

По итогам реализации всех проведенных мероприятий обучающиеся ГЭО продемонстрировали успешную реализацию заданий по восстановлению семантической целостности фразеологизмов, нахождению противоположных и идентичных по смыслу предложений. Автор выявил успешное выполнение заданий по восстановлению пропущенных слов в предложениях с фразеологическими оборотами, умение заменять их одной лексической единицей, идентичной по смыслу всему фразеологическому обороту, а также продуктивную работу с заданиями на распознавание и соотнесение текстов с фразеологизмами и восстановление деформированных текстов с фразеологизмами. Обращаясь к статистическим данным, автор отмечает, что обучающиеся ГЭО успешнее выполнили задания диагностической методики по сравнению со школьниками КГ, что отражено на рисунке 2.

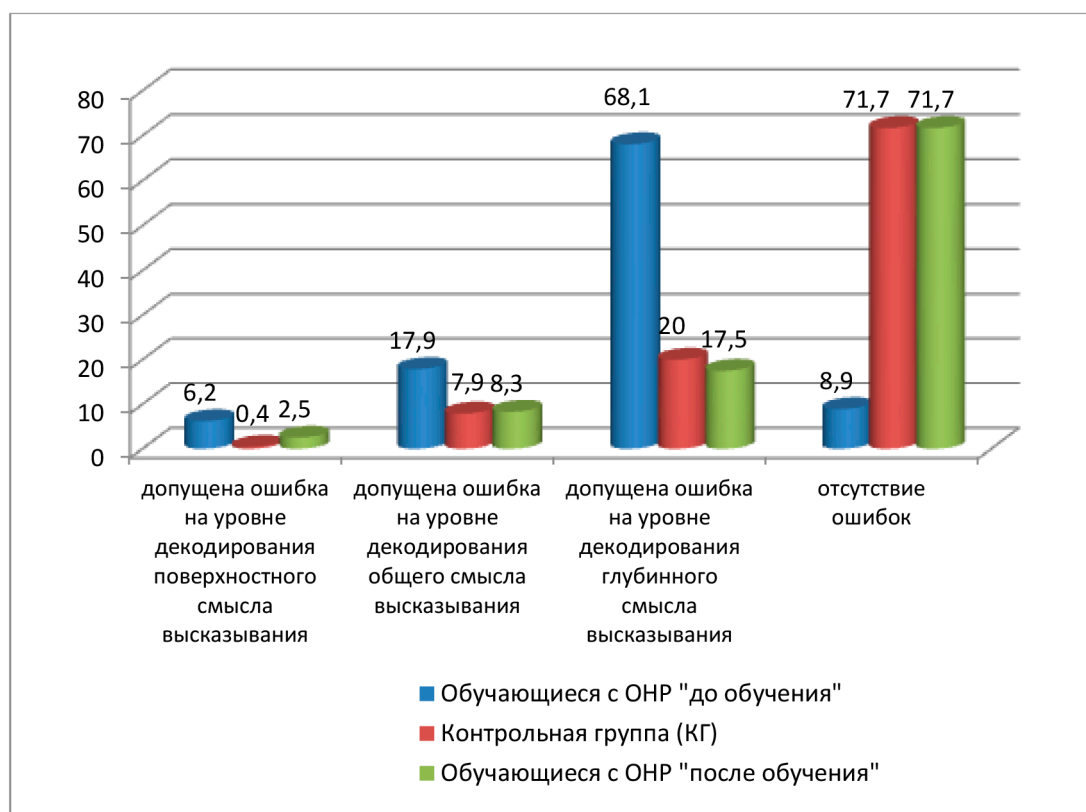


Рис. 2. Сравнительный анализ результатов выполнения заданий в соответствии с уровнями формирования декодирующей способности в процессе речевой деятельности КГ и ГЭО до и после обучения, % обучающихся

Проведенная статистическая обработка данных подтверждает эффективность разработанной автором коррекционной модели, демонстрируя числовой разрыв показателей в пользу минимизации количества обучающихся, допустивших ошибки декодирования речевых высказываний, в группе экспериментального обучения по сравнению с обучающимися контрольной группы.

Заключение

При подведении итогов реализации модели логопедического воздействия по формированию умения декодировать речевые высказывания, содержащие фразеологизмы, следует отметить, что у младших школьников с недоразвитием речи автором были зафиксированы значительное улучшение показателей оперирования речевым материалом, в состав которого включены фразеологизмы, повышение уровня сформированности умений декодирования смысла высказываний, как на поверхностном, так и на глубинном этапах, что доказывает эффективность и практическую значимость данной модели для коррекционно-развива-

ющей работы с обучающимися с речевой патологией.

Список литературы

1. Алмазова А.А., Петрова Т.В. Результаты логопедической работы по формированию умений декодирования фразеологических единиц младшими школьниками с недоразвитием речи // Специальное образование. 2023. № 3. С. 5-15. URL: <https://specobr.ru/archive/2023/3/rezultaty-logopedicheskoy-raboty-po-formirovaniyu-umenij-dekodirovaniya-frazeologicheskikh-edinit-mladshimi-shkolnikami-s-nedorazvitiem-rechi> (дата обращения: 19.02.2025).
2. Тишина Л.А., Данилова А.М. Проблемы психолого-педагогического сопровождения обучающихся с ограниченными возможностями здоровья в образовательной организации // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 3. С. 194-200. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37966> (дата обращения: 22.02.2025).
3. Тишина Л.А. Технологии коррекционно-развивающей работы на материале учебных текстов в обучении младших школьников с ограниченными возможностями здоровья // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 124-130. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38482> (дата обращения: 19.02.2025).
4. Бабина Г.В., Любимова М.М. Сжатие и развертывание содержания текста учащимися с тяжелыми нарушениями речи: лингвокогнитивный аспект // Наука и школа. 2021. № 6. С. 247-255. DOI: 10.31862/1819-463X-2021-6-247-255. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qutytc> (дата обращения: 20.02.2025).

5. Мальчихина Ю.Н. Читательская компетентность младших школьников // Филологическое образование в период детства. 2022. № 29. С. 119-128. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49329852> (дата обращения: 04.02.2025).
6. Грибова О.Е., Алмазова А.А. Стратегии заполнения лакун в клоуз-тесте учащимися с тяжелыми нарушениями речи // Интеграция образования. 2021. Т. 25. № 2 (103). С. 340-358. DOI: 10.15507/1991-9468.103.025.202102.340-358.
7. Бергольцева А.В. Развитие читательской компетентности младшего школьника при работе над интерактивным текстом // Начальная школа. 2024. № 12. С. 34-39. URL: <https://n-shkola.ru/archive/view/464> (дата обращения: 09.02.2025).
8. Алмазова А.А., Бабина Е.Д. Семантизация контекстуально-опосредованных языковых единиц школьниками с нарушениями чтения // Нарушения письма и чтения у детей: изучение и коррекция: монография / Под общей редакцией О.А. Величенковой. М.: ООО «ЛЮГОМАГ», 2018. С. 96-109. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36557482&pff=1> (дата обращения: 16.02.2025).
9. Шишкова М.И. Адаптивные возможности специальных методик (на примере уроков литературного чтения) // Конференциум АСОУ: сборник научных трудов и материалов научно-практических конференций. 2016. № 4. С. 2436-2441. URL: <http://www.shishkova.ru/publications/article10.htm> (дата обращения: 22.02.2025).
10. Дубинчук Л.В. Использование нетрадиционных методов работы учителя-логопеда по формированию фразеологического словаря у детей старшего дошкольного возраста с общим недоразвитием речи // Актуальные вопросы современной педагогики: материалы V Междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2014 г.). 2014. С. 157-160. URL: <https://moluch.ru/conf/ped/archive/103/5542/> (дата обращения: 19.02.2025).
11. Цейтлин С.Н. Языковые правила и их нарушение в речи детей и взрослых // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2020. № 196. С. 7-17. DOI: 10.33910/1992-6464-2020-196-7-17.
12. Белобородова Е.В. Особенности обследования различных средств языка у детей дошкольного и младшего школьного возраста // Вестник образования и науки. Педагогика. Психология. Медицина. 2014. № 2(12). С. 9-19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22294360> (дата обращения: 06.02.2025).
13. Хомякова Т.В. Специфика декодирования скрытого смысла младшими школьниками с недоразвитием речи // Психолого-педагогический поиск. 2020. № (54). С. 195-201. DOI: 10.37724/RSU.2020.54.2.020. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jztrci> (дата обращения: 12.02.2025).
14. Халилова Л.Б., Володина А.С. Психолингвистические механизмы декодирования речи. Норма и речевая патология: монография. М.: ПАРАДИГМА, 2014. 152 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22312487> (дата обращения: 14.02.2025).
15. Грибова О.Е. Становление текстовой компетенции у обучающихся с общим недоразвитием речи (аспект понимания фактуальной информации текста): этапы и закономерности // Специальное образование. 2016. № 2 (42). С. 15-25. URL: <http://elar.uspu.ru/handle/uspu/2952?mode=full> (дата обращения: 24.02.2025).

УДК 378.147:72.01
DOI 10.17513/snt.40380

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ ЧЕРЕЗ ИЗУЧЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Чернышова Э.П., Гильдина Т.А., Ткаченко Д.А.

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена»,
Санкт-Петербург, e-mail: ch-elvira@bk.ru, felmantanya@gmail.com, d.a.tkachenko@yandex.ru

Данная статья посвящена исследованию ключевых аспектов и инструментов формирования ценностных ориентаций иностранных студентов посредством изучения архитектурного наследия Санкт-Петербурга, а также определению потенциала использования учебно-методического комплекса «Знакомство с Герценовским университетом». Материалы исследования основаны на анализе научных работ по проблематике, а также на анализе практической педагогической деятельности по обозначенным аспектам на базе Института художественного образования Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. Исследование проводится в теоретическом ключе, а методология опирается на анализ научного контекста, а также анализ данных, полученных в ходе работы с иностранными обучающимися и последующего обобщения проблемной ситуации. В результате проведенного исследования сформулированы положения об эффективных инструментах формирования ценностных ориентаций иностранных студентов. Определено, что одной из ключевых форм организации педагогической деятельности становится учебная экскурсия в рамках практических и лекционных занятий. Отмечена необходимость в разработке учебно-методического комплекса для работы с иностранными обучающимися с учетом поставленной проблемы и положений современной педагогической науки. Работа с предлагаемым учебно-методическим комплексом «Знакомство с Герценовским университетом» направлена на ускоренную адаптацию и интеграцию иностранных студентов в российской образовательной среде. Утверждается, что знакомство иностранных обучающихся с архитектурным наследием России необходимо осуществлять в соответствии с принципом культуросообразности. В качестве заключения отмечается, что процесс формирования ценностных ориентаций иностранных студентов через изучение архитектурного наследия Санкт-Петербурга влияет на становление инкультурированной и приобщенной к российской культуре личности студента.

Ключевые слова: методика обучения, архитектурное наследие Санкт-Петербурга, формирование ценностного отношения к культуре, инкультурирующее воспитание и обучение, развитие культурных навыков, иностранные студенты, высшее образование

Исследование выполнено за счет внутреннего гранта Российского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена (проект № 65-VG).

FORMATION OF VALUE ORIENTATIONS OF FOREIGN STUDENTS THROUGH STUDYING THE ARCHITECTURAL HERITAGE OF SAINT PETERSBURG

Chernyshova E.P., Gildina T.A., Tkachenko D.A.

*The Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg,
e-mail: ch-elvira@bk.ru, felmantanya@gmail.com, d.a.tkachenko@yandex.ru*

This article is devoted to the study of key aspects and tools for the formation of value orientations of foreign students through the study of the architectural heritage of St. Petersburg, as well as in determining the potential for using the educational and methodological complex "Acquaintance with the Herzen University". The research material is based on the analysis of scientific papers on the issue, as well as on the analysis of practical pedagogical activity on the designated aspects based on the Institute of Art Education of the Russian State Pedagogical University named after A.I. Herzen. The study is carried out in a theoretical vein, and the methodology is based on the analysis of the scientific context, as well as the analysis of data obtained in the course of working with foreign students and the subsequent generalization of the problem situation. As a result of the study, provisions on effective tools for the formation of value orientations of foreign students were formulated. It was determined that one of the key forms of organizing pedagogical activity is an educational excursion within the framework of practical and lecture classes. The need for the development of an educational and methodological complex for working with foreign students, taking into account the problem and the provisions of modern pedagogical science, is noted. Work with the proposed educational and methodological complex "Introduction to Herzen University" is aimed at accelerated adaptation and integration of foreign students in the Russian educational environment. It is stated that familiarization of foreign students with the architectural heritage of Russia must be carried out in accordance with the principle of cultural conformity. In conclusion, it is noted that the process of forming value orientations of foreign students through the study of the architectural heritage of St. Petersburg affects the formation of an enculturated and Russian-cultured personality of the student.

Keywords: teaching methods, architectural heritage of St. Petersburg, formation of value attitude to culture, foreign students, enculturating education and training, development of cultural skills, higher education

The study was carried out with the support of an internal grant from the A.I. Herzen State Pedagogical University of Russia (project No. 65-VG).

Введение

На сегодняшний день в Институте художественного образования ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена» успешно реализуется программа академической мобильности. На программах бакалавриата, магистратуры, ассистентуры-стажировки и аспирантуры числится более 500 иностранных обучающихся (более 95 % из общего числа являются гражданами КНР). Институт также успешно реализует совместную образовательную программу с Шаньдунским педагогическим университетом (КНР). В связи с этим работа с иностранными студентами является одним из приоритетных направлений деятельности вуза и учебного подразделения в частности, что находит отражение в пункте 2.6 программы развития ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена» на 2024–2030 гг. [1, с. 32].

Одной из задач государственной национальной политики Российской Федерации является успешная социальная и культурная адаптация и интеграция иностранных граждан в российское общество [2]. Создание эффективных инструментов для ускоренной интеграции иностранного студента в образовательную среду способствует развитию межнациональной коммуникации и повышению привлекательности образовательных программ для иностранных абитуриентов. Сегодня обобщить опыт работы с иностранными студентами, в том числе с позиции их интеграции в социокультурную среду, попытались такие исследователи, как Е.А. Беляева, Е.В. Грунт, Л.В. Русских. В своем исследовании авторы представили анализ основных мотивов студентов из Китая, влияющих на выбор образовательного учреждения, среди которых выделяются прагматические, социально-психологические и процессуальные мотивы [3, с. 18]. Материал статьи отличается актуальностью, учитывая современную тенденцию увеличения контингента иностранных студентов в российских вузах. Проблематика, затронутая авторами, позволяет наметить перспективные линии изучения вопроса, в частности исследования проблемы адаптации и интеграции иностранного студента. Обозначить основные проблемы, связанные с интеграцией иностранного студента, попыталась Е.О. Махмутова, которая дает краткую характеристику специфики российской образовательной модели и анализ основных подходов по привлечению иностранного студента [4]. Весьма убедительным

представляется подход в исследовании особенностей адаптации иностранных студентов М.А. Кочерьян, П.П. Рыскина, Н.Н. Шуралевой, в котором на анализе большого массива данных опроса студентов из других стран и расчета интегральных показателей адаптации представили основные векторы деятельности, требующие внимания при работе с иностранным контингентом [5]. Проблематике международной деятельности в системе художественного образования посвящены труды А.Е. Савеловой, которая представляет анализ опыта международного сотрудничества конкретных образовательных учреждений в таких сферах художественного образования, как музыкальное и хореографическое воспитание [6]. В данном ключе можно осветить исследование К.М. Зубрилиной, Л.А. Раздобариной, в котором представлены итоги реализации совместной образовательной программы российского и китайского образовательных учреждений [7].

Анализ проблемных исследований позволил сформулировать актуальность исследуемой темы, которая определяется нарастающим вниманием академического сообщества к проблеме и запросом на поддержку межкультурного взаимодействия, совершенствование системы академической мобильности и установление позитивного имиджа российского образования в международном сообществе. Анализ педагогического опыта авторов позволил выделить основные трудности, препятствующие быстрому включению иностранного обучающегося в образовательный процесс, что проявляет проблему формирования ценностных ориентаций иностранных студентов Института художественного образования: трудности профессиональной коммуникации и языковой барьер; чуждая для студента социально-культурная среда; отсутствие базовых знаний и понимания процессов развития русского искусства. Запрос на решение обозначенных проблем позволяет сформулировать предмет обсуждения, заключающийся в необходимости разработки и внедрения эффективных инструментов, способствующих эффективному формированию ценностных ориентаций иностранных обучающихся.

Цель исследования заключается в теоретическом обосновании процесса формирования ценностных ориентаций иностранных студентов при изучении архитектурного наследия Санкт-Петербурга, а также в определении потенциала использования учебно-методического комплекса «Знакомство с Герценовским университетом». Для достижения поставленной цели необ-

ходимо решить ряд задач, которые можно определить следующим образом: анализ научного контекста; анализ практической педагогической деятельности в направлении международной деятельности на базе Института художественного образования; теоретический анализ педагогических стратегий и модели формирования ценностных ориентаций иностранных студентов через изучение архитектурного наследия Санкт-Петербурга; обоснование разработки учебно-методического комплекса для работы с иностранным обучающимся. При этом в процессе проведения теоретического анализа авторы соотносят фокус исследования с традициями и методикой классической педагогики в совокупности с актуальными исследованиями.

Формирование ценностных ориентаций происходит в аксиологическом ключе путем воспитания отношения к природе, обществу, культуре и человеку. Архитектурное наследие Санкт-Петербурга сегодня – важнейшая культурная ценность, посредством изучения которой, по мнению авторов, возможно эффективно формировать ценностные ориентации у иностранных студентов. Приобщаясь к культурному наследию, студенты-иностранцы постигают мир русской художественной культуры в ее артефактах – архитектурных объектах. Такой подход видится соответствующим классическим представлениям об обучении и воспитании как формировании ценностных ориентиров и ценностного отношения к природной, общественной, культурной реальностям.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили: практическая деятельность Института художественного образования РГПУ им. А.И. Герцена; результаты актуальных научных исследований; ряд нормативно-правовых документов, регламентирующих международную деятельность в образовании, проектирование и реализацию программ высшего образования, в частности документ программы развития ФГБОУ ВО РГПУ им. А.И. Герцена на 2024–2025 гг. и Приказ Федерального агентства по делам национальностей России от 17.11.2020 № 142 «Об утверждении Методических рекомендаций для органов государственной власти субъектов Российской Федерации “О социальной и культурной адаптации и интеграции иностранных граждан в Российской Федерации”».

Методология исследования опирается на анализ нормативно-правовых документов и научного контекста, а также на анализ данных, полученных в ходе наблюдения

и обобщения проблемной ситуации в практической деятельности.

Результаты исследования и их обсуждение

Стоит отметить, что пространство культурной жизни детерминировано ценностными смыслами, что определяет его структуру и специфику. При этом педагогическое знание и педагогическая практика обладают ценностно-ориентированной характеристикой. Иными словами, педагогика – это наука и вид практической деятельности, наполненный ценностными смыслами. Говоря об определении характеристик используемых в статье понятий, необходимо отметить, что корректным представляется определение понятия ценностных ориентаций, в котором оно рассматривается как системное ценностных предпочтений, основанное на субъективном отношении личности к объективным условиям жизни [8, с. 107]. Под формированием ценностных ориентаций иностранных студентов понимается процесс, определяющий их личностный рост и саморазвитие. В данном случае процесс включает в себя сознательное отношение человека к действительности, что определяет личностную мотивацию с учетом нахождения их в российском образовательном пространстве. Сегодня принято выделять два вида ценностных ориентаций: личностно значимые, которые определяют важные качества личности, и профессионально значимые ориентации, которые регулируют действия индивидуума в профессиональной сфере [9, с. 287].

Исследование темы формирования ценностных ориентаций подразумевает междисциплинарный подход, который включает анализ философских и педагогических трудов в разрезе эволюции развития научной мысли. Так, классики педагогической мысли высказывали мнения, согласно которым образование, воспитание и педагогическая практика наполнены ценностными ориентирами, которые, в частности, могут быть привиты ученикам. Знаменитый педагог, практик и теоретик образования Д.И. Тихомиров полагал, что личность должна проявлять ценностное отношение как к природе и культуре, так и к человеку. Человек осознает себя в ценностной реальности, поэтому задача учителя – развивать и воспитывать ученика в контексте базовых ценностей культуры и духовно-нравственной жизни [10]. Эта гуманитарная позиция, основанная на принципах человеколюбия, гуманизма и человекоцентризма, описывает педагогическую реальность как наполненную ценностными смыслами.

В трудах основоположника научной педагогики К.Д. Ушинского поднимается вопрос необходимости ценностного формирования личности, где ценности – это то, что должно воспитываться в процессе обучения и воспитания. Кроме того, К.Д. Ушинский придавал большое значение нравственному воспитанию [11, с. 593]. Педагог полагал, что в рамках обучения и воспитания следует стремиться формировать духовные, культурные и нравственные ценности.

А.Я. Кузнецова, представившая панораму философии образования XX в., отмечает, что ведущей идеей в трудах классиков теории обучения и воспитания столетия стало описание образования как ценностного явления. Автор отмечает, что большинство теоретиков педагогики указывают на необходимость развития ценностного отношения у учеников к реальности, включая природную и социальную. Подчеркивается, что подавляющее большинство представителей теоретической мысли склонялось к необходимости формировать у учеников культурные и духовно-нравственные ценностные ориентиры, а педагогика должна представлять собой стратегию личностного, культурного и духовно-нравственного развития, что коренным образом ставит вопрос о необходимости воспитания ценностного отношения к природе, обществу, культуре и человеку [12].

Начиная с 1990-х гг. все больше исследователей обращает свое внимание на ценностный подход в обучении, подразумевающий прежде всего учет культурных и духовных аспектов в обучении и воспитании. Например, Н.Д. Никандров в своих трудах указывал на то, что ценности – важнейшая часть образовательного и воспитательного процессов, посредством приобщения к которым формируется сама идея об образовании как формировании личности. Ученый отстаивал позицию, что ценности, которые наполняют гуманитарный универсум, человеческую жизнь и жизнь личности, должны взращиваться в процессе педагогической работы учителя с учениками. В одной из последних статей ученый поднимает вопрос об усилении гуманитарного образования, которое способствует укреплению системы национальных ценностей [13, с. 20]. Ценностная система детерминирует жизнь человека, следовательно, как можно заключить, педагог и педагогическое сообщество не могут исключать данный аспект своей практической деятельности. Данная точка зрения транслируется в многочисленных философских и научных работах по сегодняшний день.

Для определения фокуса настоящего исследования и выявления недостаточно изученных аспектов необходимо соотнести предмет исследования с результатами актуальных научных трудов по обозначенной теме. Среди актуальных исследований можно выделить публикации М.В. Финько, освещающие особенности формирования ценностных ориентиров в российском образовательном пространстве с учетом системных изменений. Автор статьи подробно разбирает проблему неустранимости противоречий ценностных и целевых позиций, которая приводит к столкновению глобальных и национальных интересов в системе отечественного образования [14, с. 12]. В исследовании Н.А. Артеменко и С.В. Белогурова предпринята попытка уточнить существующие понятия «ценности», «ценностные установки». Авторами предложена система формирования ценностных установок при изучении гуманитарных дисциплин на примере студентов ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. Выделяется важность воспитательной деятельности в вузах, которая становится эффективным педагогическим ресурсом в процессе формирования ценностных установок [15].

Определение принципов педагогической аксиологии находит свое отражение в статьях Е.И. Белоусовой. Автор обращается к изучению формирования ценностных ориентаций в условиях высшего профессионального образования под влиянием различных социальных факторов, а также поднимает проблему «конфликта культур» для иностранного студента. Автор утверждает, что успешная межкультурная коммуникация возможна только с учетом познания компонентов иной культуры (русской культуры для иностранного студента) [16, с. 2].

Обзор теоретической базы показал, что в большей части исследований формирование ценностных ориентаций рассматривается как ключевой элемент формирования личности. Анализ исследований по обозначенному вопросу позволяет определить теоретическую основу для дальнейшего развития методологии и актуализирует проблему процесса формирования ценностных ориентаций у иностранных обучающихся. Также в ходе поисков современных подходов в работе с иностранными студентами можно сделать вывод о необходимости проведения исследования с учетом специфики художественного образования.

Фокус внимания авторского коллектива настоящей статьи направлен на изучение процесса формирования ценностных ориентаций иностранных студентов посредством изучения архитектурного наследия Санкт-

Петербурга. Отметим, что Санкт-Петербург понимается исторически как город пересечения культур и «самый европейский город» Российской империи. Основанный при Петре Великом, столичный город стал перекрестком цивилизационного развития России, формирующейся как империя, имеющей свои собственные культурные императивы и культурные особенности. Санкт-Петербург становился городом, в котором соединялся блеск имперского российского двора, русская старина и православные обычаи, новаторство петровской эпохи, в том числе выраженное в архитектурных решениях, и многочисленные перипетии социально-экономического развития России эпохи империи. В советское время Санкт-Петербург – Ленинград получил наименование «культурной столицы», что было связано прежде всего с тем наследием, которое отразилось в специфике города, в том числе и архитектурной. Видный культуролог и семиотик Ю.М. Лотман высказывался о Санкт-Петербурге как о городе великой культурной памяти и многообразия культурных кодов. По мнению ученого, столичный город, несмотря на короткую историю, – это выдающееся место пересечения культур, локус производства культурной памяти и место развития культуры [17, с. 85]. В эпоху современной России Санкт-Петербург занимает лидирующие позиции по туристической привлекательности среди всех субъектов РФ, а также является объектом обширного интереса среди иностранных туристов. Помимо интереса в туристической сфере можно отметить повышенное внимание к системе высшего художественного образования Северной столицы среди российских и иностранных абитуриентов. Популярность российских вузов среди иностранных студентов определяется доступностью и комфортными условиями для обучения [18, с. 181], а также сохранением и трансляцией традиций классической академической школы в системе художественного образования.

В работе с иностранным контингентом большое внимание следует уделять инкультурации и ресоциализации в российском обществе. Иностранный студент, который является носителем иной культуры, формируется педагогически под воздействием импульса, который несет российская культура. Архитектурное наследие Санкт-Петербурга, – города, имеющего выдающуюся историю и культуру, можно представить как актуальную площадку для педагогической деятельности и прежде всего – формирования культурных ценностей у обучающихся. Можно отметить универсальность

и эффективность модели, в которой изучение архитектуры может быть положено в основу духовно-нравственного и культурного развития обучающихся, что подтверждается многочисленными исследованиями.

Формирование ценностных ориентаций иностранных студентов посредством изучения архитектурного наследия Санкт-Петербурга стоит на принципе культуросообразности в процессе воспитания и обучения. Культуросообразный принцип, впервые описанный А. Дистервегом, означает фактически обучение и воспитание культурой. Принцип культуросообразности в подготовке специалиста подразумевает максимальное включение студента в культурную среду региона, где проходит обучение [19, с. 37].

Попадая в инокультурную среду, иностранный студент так или иначе к ней приобщается, и это может быть проведено при помощи педагогического воздействия, в частности, при формировании ценностных ориентаций и на основании изучения и анализа архитектурного наследия Санкт-Петербурга как «культурной столицы» России.

В целом следует отметить, что изучение архитектурного наследия Санкт-Петербурга может способствовать формированию ценностных ориентаций иностранных студентов, так как через архитектурный облик города можно познать его характер и специфику. Затем можно расширить границы культурного образования студентов и сформировать у них ценностные ориентации, которые будут обоснованы культурой в ее многообразии и специфике. Необходимо уточнить, что термин «культурное образование», пришедший из Германии [20, с. 19], в контексте настоящей статьи понимается как профессиональная подготовка специалистов в направлениях культуры и искусств. Тогда как художественное образование является частью культурного образования, связано с процессом овладения и присвоения человеком художественной культуры своего народа и человечества.

Пример эффективной реализации принципа культуросообразности в практической деятельности с иностранными студентами представлен в исследовании Т.Н. Доминовой, где центральной является идея того, что архитектура может стать фундаментом для развития культурных компетенций иностранных студентов. По мнению ученого, данное развитие происходит в процессе историко-культурного образования, которое включает анализ и изучение архитектурного облика Санкт-Петербурга. Оценивая практическую значимость, можно отметить предложенную автором мето-

дику формирования лингвокраеведческой компетенции иностранного студента посредством знакомства с историко-культурным пространством Петербурга с помощью мультимедийного пособия [21]. Интересным представляется подход, предложенный Т.Н. Доминовой и Д.Т. Рашидовой в статье, где изучение историко-культурного пространства Санкт-Петербурга посредством квест-экскурсии предлагается как инструмент обучения русскому языку как иностранному [22]. Описание предложенных методик работы с иностранными студентами позволяет предположить перспективность развития обозначенных подходов в образовательной деятельности и в других тематических направлениях.

Можно отметить, что обучение иностранных студентов истории и теории петербургской архитектуры может стать значимым инструментом в процессе их воспитания, социализации и инкультурации, что позволит повлиять на формирование ценностных ориентаций, определив направленность личностных интересов. Это, в частности, продиктовано и атмосферой Санкт-Петербурга, которая располагает к изучению культурного наследия и архитектуры, составляющей важнейшую его часть. Рассматривая вопрос с позиции формирования личностно значимых ценностных ориентаций, можно утверждать, что изучение архитектурного наследия способствует усвоению духовно-нравственных ценностей и формированию ценностного отношения к национальной культуре другой страны. Последующее понимание и усвоение материала влияет на установление положительной мотивации к профессиональной и творческой активности, что отражает процесс формирования профессионально значимых ценностных ориентаций.

К практическим образовательным и воспитательным инструментам в данном контексте можно отнести, например, учебную экскурсию. Согласно определению, представленному в исследовании А.М. Соловьевой, М.Н. Мишиной, М.М. Мишина, учебная экскурсия – это проведение учебного занятия в условиях производства, природы, музея с целью наблюдения и изучения студентами различных объектов и явлений действительности [23]. В соответствии с документом Минпросвещения России от 16.06.2022 № 06-836 «Методические рекомендации по организации экскурсий для обучающихся, включая экскурсии по историко-культурной, научно-образовательной и патриотической тематике» на проведение экскурсий должно формироваться с учетом возможностей данной формы в ре-

шении образовательных и воспитательных задач [24]. Мнение авторов настоящей статьи созвучно взгляду Н.А. Киндя на учебную экскурсию как на эффективную форму образовательного процесса, способствующую формированию ключевых компетенций и всестороннее развитие личности современного студента [25, с. 133]. Именно развитие личности – аспект, который напрямую связан с формированием ценностных ориентаций. Также в основе экскурсионной деятельности лежит коммуникативный подход, что на сегодня может считаться одним из наиболее эффективных [26, с. 291]. Обобщая вышесказанное, можно сказать, что экскурсия может стать значительным педагогическим инструментом, в частности, в рамках культурологического и духовно-нравственного обучения и воспитания иностранных студентов.

Ранее было обозначено, что благодаря большому контингенту иностранных обучающихся международная деятельность становится значительной частью работы Института художественного образования РГПУ им. А.И. Герцена. Учитывая особенности практической деятельности с иностранными обучающимися Института, экскурсия представляется эффективной формой работы. Данная форма организации учебного процесса позволяет непосредственно погружаться в архитектурную и музейную среду. При работе с иностранными обучающимися Института художественного образования можно выделить два типа экскурсий:

– Регулярно проводятся учебные экскурсии для иностранных студентов различных курсов. Данная форма работы отвечает содержанию следующих дисциплин: «Музейное пространство Санкт-Петербурга», «Учебная практика (ознакомительная)» (направление подготовки 50.04.01 «Искусства и гуманитарные науки», направленность (профиль): «Теория и практика визуальных искусств») и «История искусств», «Анализ и интерпретация произведения искусства» (направление подготовки: 44.03.05 «Педагогическое образование» (с двумя профилями подготовки), направленность (профиль): «Изобразительное искусство, Дополнительное образование») и др. Поскольку учебная экскурсия реализуется в рамках учебных дисциплин, то подразумевается выполнение контрольных заданий по итогу проведения занятий. Например, в рамках реализации учебной (ознакомительной) практики студенты готовят итоговую презентацию, в которой демонстрируют свое понимание особенностей архитектурного облика Северной столицы.

– В отдельную категорию можно выделить обзорные и просветительские экскурсии в рамках кураторской и воспитательной деятельности. В обозначенных форматах мероприятия имеют досуговый характер, они направлены на адаптацию иностранного студента и включению его в культурное пространство города.

Поскольку изучение архитектурного наследия Санкт-Петербурга и формирование ценностных ориентаций происходит в том числе с привлечением историко-культурной и учебной литературы, дидактических материалов и пособий, важно отметить необходимость в разработке адаптированного учебно-методического комплекса для работы с иностранными студентами в качестве инструмента формирования ценностных ориентаций иностранных обучающихся и инструмента, повышающего эффективность освоения дисциплин теоретического цикла образовательных программ Института художественного образования. В качестве примера можно привести разрабатываемое авторским коллективом статьи учебно-методическое пособие «Знакомство с Герценовским университетом» (на двух языках) в рамках проекта «Культурный мост», направленное на работу с иностранными студентами. Текст пособия на русском языке сопровождается комментариями на китайском языке. Выбор языка определяется показателем контингента, согласно которому 98% иностранных студентов института художественного образования являются гражданами КНР. Данное пособие может помочь студентам осуществлять поиск информации, составить общие представления об архитектурном комплексе РГПУ им. А.И. Герцена в частности, а также Санкт-Петербурга в целом, учитывая этапы формирования архитектурного облика города. Поскольку архитектурный комплекс Герценовского университета является памятником историко-архитектурного наследия, включенным в исторический центр Санкт-Петербурга, подготовка пособия, обращенного на знакомство иностранного студента с ним, позволит решить сразу несколько образовательных и воспитательных задач: знакомство с университетской средой; изучение истории образования и педагогической мысли; изучение истории развития русской архитектуры.

Структурно разрабатываемое пособие включает два раздела, один из которых предназначен для иностранного обучающегося, а второй – для педагога. Первый раздел включает тематический блок, посвященный особенностям архитектурно-ландшафтного комплекса Герценовского университета

и истории бытования учебного заведения. Завершает первый раздел блок с вопросами и заданиями для проверки уровня освоения материала. Второй раздел содержит методические рекомендации для педагога, включающий тематический план в рамках предложенных дисциплин, рекомендации по проведению лекционных и семинарских занятий с использованием пособия, предложены варианты учебных заданий, требования к ним и критерии оценивания, а также часть с рекомендациями по использованию разработки в рамках воспитательной и внеучебной деятельности. Второй раздел позволит сориентироваться в вариантах применения разработки в работе с иностранными обучающимися с учетом специфики каждой указанной дисциплины.

Разработку характеризует универсальность в использовании, поскольку содержание позволяет использовать его материалы как в процессе самостоятельной работы, так и в аудиторной работе в рамках освоения учебных дисциплин теоретического цикла:

– история искусств, анализ и интерпретация произведения искусства (направление подготовки: 44.03.05 «Педагогическое образование» (с двумя профилями подготовки), направленность (профиль): «Изобразительное искусство, Дополнительное образование»);

– описание и анализ произведений визуальных искусств, история искусства Нового времени, разработка автобусных и пешеходных экскурсий (направление подготовки: 50.03.03 «История искусств», направленность (профиль): «История искусств и дизайна»);

– музейное пространство Санкт-Петербурга, учебная практика (ознакомительная) (направление подготовки 50.04.01 «Искусства и гуманитарные науки», направленность (профиль) «Теория и практика визуальных искусств»).

В качестве перспектив настоящего исследования можно отметить необходимость проведения контрольной оценки по результатам внедрения разработки, с анализом обратной связи и результатов усвоения представленного материала. Анализ экспериментальной деятельности, проведение опроса, систематизация и обобщение полученных данных позволят предоставить обоснование эффективности внедрения пособия в практическую деятельность и наметить пути совершенствования в работе по адаптации и интеграции иностранного студента.

Заключение

В результате оценки уровня разработанности темы в научном поле можно сде-

лать вывод о существенном объеме исследований общетеоретического характера, а также в области отдельных направлений, таких как гуманитарные науки, однако выделяется недостаточность теоретических разработок и предложений в системе художественного образования. Таким образом, вопрос о формировании ценностных ориентаций у иностранных студентов путем приобщения к архитектурному наследию Санкт-Петербурга видится актуальной задачей для педагогических исследований и педагогической практики. Во-первых, потому, что данная проблема раскрывает разнохарактерные аспекты инкультурации иностранных студентов, которые обучаются в российских вузах, являясь представителями иных культур. Во-вторых, по той причине, что данный вопрос фиксирует традиционную для педагогической науки тематику личностного, гуманитарного и культурного развития обучающихся.

Выдвинуто предположение, что разрабатываемое авторским коллективом учебное пособие «Знакомство с Герценовским университетом» может стать эффективным инструментом, работа с которым способствует ускоренной адаптации и интеграции в российской образовательной среде.

В процессе исследования установлено, что педагогические инструменты формирования ценностных ориентаций иностранных студентов через изучение архитектурного наследия Санкт-Петербурга складываются из базовых технологий обучения и воспитания, что входит в согласие с представлениями классиков педагогической науки о роли, целях и смысле образования и воспитательной деятельности. При этом общей целью формирования ценностных ориентаций иностранных студентов через изучение архитектурного наследия Санкт-Петербурга становится культурное развитие, инкультурация, адаптация и социализация обучающихся.

Список литературы

1. Программа развития Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена» на 2024–2025 годы. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.herzen.spb.ru/upload/medialibrary/99d/sjilufmyl9eexin7odarf7ip40cawcs8/Programma-razvitiya-2024_2030.pdf (дата обращения: 01.02.2025).
2. Приказ Федерального агентства по делам национальностей России от 17.11.2020 № 142. Об утверждении Методических рекомендаций для органов государственной власти субъектов Российской Федерации «О социальной и культурной адаптации и интеграции иностранных граждан в Российской Федерации». 2020 [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_369347/ (дата обращения: 02.02.2025).
3. Беляева Е.А., Грунт Е.В., Русских Л.В. Факторы формирования мотивов обучения китайских студентов в российских вузах в условиях становления постглобального образовательного пространства // *Перспективы науки и образования*. 2023. № 3 (63). С. 10–26. DOI: 10.32744/pse.2023.3.1.
4. Махмутова Е.В. Особенности интеграции иностранных студентов в российское образовательное пространство // *Власть*. 2020. Т. 28, № 1. С. 77–84. DOI: 10.31171/vlast.v28i1.7045.
5. Кочерьян М.А., Рыскин П.П., Шуралева Н.Н. Исследование особенностей адаптации иностранных студентов // *Современные наукоемкие технологии*. 2024. № 11. С. 180–187. DOI: 10.17513/snt.40227.
6. Савелова Е.В. Перспективы международного сотрудничества в подготовке специалистов для сферы искусства и культуры // *Высшее образование в России*. 2018. Т. 27, № 7. С. 105–110. DOI: 10.31992/0869-3617-2018-27-7-105-110.
7. Зубрилин К.М., Раздобарина Л.А. Особенности художественного образования в Китае на примере совместной образовательной программы, реализуемой в Московском институте искусств // *Преподаватель XXI век*. 2021. № 1–1. С. 191–197. DOI: 10.31862/2.
8. Maslieva Ye.S. Value orientations and cognitive needs formation in the professional training of foreign language teachers // *Dictum – Factum: from Research to Policy-making*. 2020. No. 2. P. 106–110. URL: https://www.sevsu.ru/upload/iblock/cfc/4u92gy2vnpwo2guwh456nq0ishrit118/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20Dictum-factum_%D0%92%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%202.pdf (дата обращения: 01.02.2025).
9. Иванова А.Ю., Малышкина М.В. Ценностные ориентации личности как регулятор профессиональной деятельности // *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2017. № 4 (146). С. 286–291.
10. Тихомиров Д.И. Чему и как учить на уроках родного языка в начальной школе? Методика обучения грамоте, объяснительному чтению, толковому изложению мыслей, грамматике, правописанию и церковно-славянскому чтению. М., 1910. 267 с.
11. Ушинский К.Д. Собрание сочинений. Материалы к третьему тому «Педагогической антропологии». Т. 10. М. – Л.: Акад. пед. наук РСФСР, 1950. 665 с.
12. Кузнецова А.Я. Философия образования в трудах исследователей XX-го века // *Сибирский педагогический журнал*. 2012. № 4. С. 21–26.
13. Никандров Н.Д. Культура как среда и способ формирования отношений // *Известия Российской академии образования*. 2022. № 1 (57). С. 13–21. DOI: 10.51944/20738498_2022_1_13.
14. Финько М.В. Ценностные ориентиры и установки студенческой молодежи в условиях трансформации высшего образования России // *Проблемы современного образования*. 2024. № 5. С. 9–23. DOI: 10.31862/2218-8711-2024-5-9-23.
15. Артеменко Н.А., Белогуров С.В. О системе формирования ценностных установок студентов вузов при изучении гуманитарных дисциплин // *Мир науки, культуры, образования*. 2023. № 6 (103). С. 8–12. DOI: 10.24412/1991-5497-2023-6103-8-12.
16. Белоусова Е.И. Ценностные ориентации иностранных студентов и духовный потенциал русской культуры // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2010. № 11. С. 251–254.
17. Лотман Ю.М. Город и время // *Метафизика Петербурга*. 1993. С. 84–94.
18. Максимова Н.А. Особенности академической адаптации иностранных студентов // *Исследование различных направлений современной науки: сборник материалов III международной очно-заочной научно-практической конференции*. В 3 т. (Москва, 23 октября 2024 г.). Москва, 2024. С. 181–186.

19. Князева А.Г. Реализация принципа культуросообразности при формировании профессионально-педагогической позиции будущих специалистов сферы культуры // Культура, наука и искусство – современные векторы развития вуза культуры: Материалы VIII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием (Орел, 27 ноября 2024 г.). Орел: Орловский государственный институт культуры, 2024. С. 34–38.
20. Мирзаева М. «Культурное образование» как концепция // Современные исследования социальных проблем. 2010. № 1. С. 18–22.
21. Доминова Т.Н. Знакомство с историко-культурным пространством Петербурга с помощью лингвокраеведческого пособия «Санкт-Петербург – культурная столица России» // Динамика языковых и культурных процессов в современной России. 2018. № 6. С. 1456–1460.
22. Доминова Т.Н., Рашидова Д.Т. Квест-экскурсия как современная форма организации знакомства с историко-культурным пространством города при обучении русскому языку как иностранному // Мир науки, культуры, образования. 2021. № 1 (86). С. 199–201. DOI: 10.24412/1991-5497-2021-186-199-201.
23. Мишина М.Н., Мишин М.М., Соловьева А.М. Образовательная экскурсия как метод обучения // Наука и Образование. 2023. Т. 6. № 1. URL: obrazovatel'naya-ekskursiya-kak-metod-obucheniya.pdf (дата обращения: 01.02.2025).
24. Письмо Минпросвещения России от 16.06.2022 № 06-836 «Методические рекомендации по организации экскурсий для обучающихся, включая экскурсии по историко-культурной, научно-образовательной и патриотической тематике» утв. Минпросвещения России 10.06.2022 [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://legalacts.ru/doc/pismo-minprosveshchenija-rossii-ot-16062022-n-06-836-o-napravlenii> (дата обращения: 02.02.2025).
25. Киндря Н.А. Учебная экскурсия как одна из форм образовательного процесса на подготовительном факультете // Вопросы педагогики. 2018. № 4–1. С. 123–133.
26. Смирнова Н.Б., Шарова Н.Б. Экскурсия как метод интерактивного обучения иностранному языку студентов профиля «Туризм» // Проблемы современного педагогического образования. 2024. № 84–1. С. 290–293.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 377.1

DOI 10.17513/snt.40381

**ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ УЧЕБНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ
СТУДЕНТОВ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР****Александрова М.В., Попов В.С.***ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»,
Великий Новгород, e-mail: novsu@novsu.ru*

Изучение проблемы развития учебной самостоятельности необходимо и обусловлено требованиями к современным выпускникам профессиональных образовательных организаций. Данный теоретический обзор ставит целью проведение анализа научной литературы и выявление основных подходов к определению и концептуализации учебной самостоятельности в среднем профессиональном и высшем образовании. В рамках исследования проведен систематический обзор научных публикаций, посвященных проблеме учебной самостоятельности в среднем и высшем профессиональном образовании. В основу отбора источников положены принципы протокола PRISMA. Было проанализировано 286 источников за период с 2018 по 2025 г., из которых отобрано 32 релевантных критериям отбора. Выявлены основные модели формирования и развития учебной самостоятельности в среднем профессиональном и высшем образовании. Раскрыты основные подходы к рассмотрению структуры учебной самостоятельности, а также уточнены понятия, связанные с данным феноменом. Проведено сравнение близких по смыслу к учебной самостоятельности понятий: «познавательная самостоятельность», «профессиональная самостоятельность», «учебная автономия» и «самоактуализация». В итоге определены содержание и структура понятия «учебная самостоятельность» в контексте среднего профессионального и высшего образования. Выявлены основные проблемы при рассмотрении данного феномена и намечены дальнейшие направления исследований.

Ключевые слова: учебная самостоятельность, профессиональное образование, учебная автономия**THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF LEARNING AUTONOMY
OF STUDENTS OF VOCATIONAL EDUCATION ORGANIZATIONS:
A THEORETICAL REVIEW****Aleksandrova M.V., Popov V.S.***Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, e-mail: novsu@novsu.ru*

The study of the problem of learning autonomy development is necessary and conditioned by the requirements for modern graduates of vocational educational organizations. This theoretical review aims to analyze the scientific literature and identify the main approaches to the definition and conceptualization of learning autonomy in secondary vocational and higher education. Within the scope of the study, a systematic review of scientific publications devoted to the problem of learning autonomy in secondary and higher vocational education was conducted. The selection of sources was based on the principles of PRISMA protocol. 286 sources for the period from 2018-2025 were analyzed, from which 32 relevant to the selection criteria were selected. The main models of formation and development of learning autonomy in secondary vocational and higher education were identified. The main approaches to the consideration of the structure of learning autonomy are revealed, and the concepts related to this phenomenon are clarified. The comparison of the concepts close in meaning to learning autonomy is carried out: "cognitive autonomy", "professional autonomy", "educational autonomy" and "self-actualization". As a result, the content and structure of the concept of "learning autonomy" in the context of secondary vocational and higher education are defined. The main problems in the consideration of this phenomenon are identified and further directions of research are outlined.

Keywords: educational independence, vocational education, educational autonomy**Введение**

Необходимость изучения и теоретического осмысления проблемы развития учебной самостоятельности студентов среднего профессионального и высшего образования обусловлена рядом современных условий и тенденций. Во-первых, это обновление нормативно-правовой базы российского профессионального образования, которое отражено в новых версиях Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС СПО, ФГОС ВО). Данные документы ставят задачу подготовки квалифициро-

ванных специалистов, обладающих не только фундаментальными знаниями и навыками профессиональной деятельности, но и развитыми компетенциями самоорганизации, самообразования и самоконтроля.

Во-вторых, признание современной педагогической и психологической наукой значения учебной самостоятельности (М.В. Хребин [1], Т.А. Борзова [2], Н.П. Ансимова [3] и др.). Высокий уровень учебной самостоятельности студентов становится необходимым условием их профессиональной мобильности, успешной адаптации

к новым профессиональным ситуациям и готовности к непрерывному профессиональному и личностному саморазвитию.

В-третьих, это недостаточная изученность и фрагментарность понимания сущности, структуры и условий развития учебной самостоятельности студентов. В научной литературе встречаются близкие, но не до конца разграниченные понятия. Понятие «учебная самостоятельность» (Г.М. Парникова [4], О.В. Вахрушева [5, с. 117], О.М. Коломиец [6]) включает самоорганизацию, планирование, оценку собственной учебной деятельности. В свою очередь, понятие «познавательная самостоятельность» (А.В. Иванова [7], М. Ван [8, с. 14–15], Л.В. Павлова [9]) основывается на познавательной активности. Специфика профессионального образования позволяет рассматривать понятие «профессиональная самостоятельность» (П.Б. Ансори [10]). Кроме того, в педагогической литературе рассматриваются понятия «учебная автономия» (А.А. Ворновская [11, с. 7]), «самоактуализация» (Т.А. Власова [12], М.В. Хребин [1]) и др. Исследователями предлагается множество подходов и моделей, включающих различные компоненты и аспекты развития самостоятельности, однако недостаточно представлена интеграция и обобщение этих подходов, что затрудняет формирование единой концепции развития данного феномена в образовательной практике.

Целесообразность данного исследования обусловлена необходимостью осуществить систематизацию и обобщение подходов к определению учебной самостоятельности на основе анализа научных публикаций в области среднего и высшего профессионального образования за последние годы. Это позволило интегрировать разрозненные научные данные, выявить пробелы и противоречия в исследованиях и определить направления дальнейшего научного поиска и практической работы по развитию учебной самостоятельности студентов организаций профессионального образования.

Цель исследования – провести анализ научной литературы и определить основные подходы к определению и концептуализации учебной самостоятельности в среднем профессиональном и высшем образовании, используя систематизацию результатов научных исследований.

Для достижения поставленной цели в ходе исследования решаются следующие задачи:

– отобрать из открытых источников рецензируемые научные публикации, посвященные проблеме учебной самостоятельности

студентов среднего и высшего профессионального образования;

– систематизировать и классифицировать подходы к определению и теоретической интерпретации учебной самостоятельности в контексте профессионального образования;

– выявить основные методологические принципы и концепции, лежащие в основе изучения учебной самостоятельности;

– проанализировать выявленные определения и концепции учебной самостоятельности с целью выделения ключевых характеристик данного феномена.

Научная новизна исследования заключается в систематизации и концептуальном анализе современных подходов к определению учебной самостоятельности студентов среднего и высшего профессионального образования. В ходе исследования выявлены основные теоретические модели и педагогические условия, используемые в научных работах, что позволяет уточнить и структурировать представления о данном феномене в контексте профессионального образования. Теоретическая значимость исследования состоит в определении и классификации концепций учебной самостоятельности, что способствует дальнейшему развитию научных исследований в области методологии и технологии профессионального образования. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения результатов с целью разработки образовательных программ и рабочих программ дисциплин, направленных на развитие учебной самостоятельности студентов в системе среднего профессионального и высшего образования.

Материалы и методы исследования

В рамках исследования проведен теоретический обзор научных публикаций, посвященных проблеме учебной самостоятельности в среднем и высшем профессиональном образовании. В основу отбора источников положены принципы протокола PRISMA, обеспечивающего прозрачность и воспроизводимость анализа [13].

Для поиска литературы использованы научные базы данных eLIBRARY, DissertCat, Google Scholar и другие академические ресурсы. В исследование включены рецензируемые научные статьи, монографии, кандидатские и докторские диссертации, а также авторефераты, опубликованные в 2018–2025 гг. Основными маркерами для отбора публикаций стали ключевые слова: «учебная самостоятельность», «самостоятельность в обучении», «познавательная самостоятельность», «самостоя-

тельная деятельность студентов», «развитие учебной самостоятельности», «среднее профессиональное образование», «высшее профессиональное образование» и др.

Отбор публикаций осуществлялся по следующим критериям: тематическая релевантность, научная значимость, доступность в открытых источниках, а также соответствие современным теоретическим и методологическим подходам к изучению учебной самостоятельности. Анализ источников проводился независимо от научной области, если они содержали концептуальные или методологические аспекты, связанные с изучаемой проблематикой.

Было проанализировано 286 источников, из которых отобрано 32 релевантных критериям отбора. В табл. 1 представлено распределение источников по областям науки.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе проведенного теоретического анализа источников выделены следующие

модели формирования и развития учебной самостоятельности студентов организаций профессионального образования (табл. 2).

Большинство моделей представляют собой этапную структуру, отражающую постепенное усложнение и расширение автономности и самостоятельности студентов. Преобладают интегративные модели, включающие когнитивные, мотивационно-ценностные, деятельностные и рефлексивные компоненты.

Важным условием большинства моделей выступает использование современных образовательных технологий, в частности цифровых ресурсов, проектной деятельности, педагогического сопровождения и интерактивных методов. Различия моделей обусловлены спецификой образовательного контекста (военное образование, языковая подготовка, профессионально-прикладная направленность). Выделенные модели раскрывают многообразие подходов и методов формирования учебной самостоятельности студентов.

Таблица 1

Распределение источников по областям науки

Научная область	Количество отобранных работ	Авторы
Педагогика профессионального образования	19	Лебедева К.С. [14], Ансори П.Б. [10], Минина В.В. [15, с. 10–11], Тедорадзе Т.Г. [16, с. 8], Храмкова Е.А. [17], Мамаева В.А. [18, с. 12–13], Баннов В.В. [19, с. 15–16], Сорокина Л.Л. [20], Теплова Т.П. [21], Токранова Ю.Г. [22, с. 7], Косарева С.А. [23], Ворновская А.А. [11, с. 9–10], Гаврющенко Ю.Н. [24], Норбаев Т.С. [25], Атыкина Т.В. [26], Малиатаки В.В. [27], Борзова Т.А. [2], Коломиец О.М. [6], И.В. Плотникова [28]
Общая педагогика	2	Иванова А.В. [7], Пичугина Г.А. [29]
Методика преподавания (предметная область)	6	Петрова И.А. [30, с. 13–14], Парникова Г.М. [4], Вахрушева О.В. [5, с. 13], Лаврик Е.Ю. [31], Ван М. [8, с. 18–19], Павлова Л.В. [9]
Педагогическая психология	3	Хребин М.В. [1], Власова Т.А. [12], Ельникова Г.А. [32]
Методология педагогики	2	Тарханова И.Ю. [33], Ансимова Н.П. [3]

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Модели формирования и развития учебной самостоятельности студентов организаций профессионального образования

Автор(-ы)	Название модели	Основные компоненты или этапы модели	Педагогические условия реализации
Ансори П.Б. [10]	Модель формирования профессиональной самостоятельности	Вхождение, конструирование и реконструкция, проектирование	Совместная деятельность, кейс-методы, рефлексия
Лебедева К.С. [14]	Модель становления образовательной самостоятельности	Вхождение в деятельность, реконструкция деятельности, проектирование деятельности	Кейс-технологии, организационно-деятельностные игры, рефлексивное пространство

Окончание табл. 2

Автор(-ы)	Название модели	Основные компоненты или этапы модели	Педагогические условия реализации
Минина В.В. [15, с. 48–74]	Личностно-развивающая модель формирования профессионального самоконтроля	Аналитический, нарративный, коммуникативный, практический этапы	Рефлексивные методики (эссе, сторителлинг), индивидуализация, дифференциация
Храмкова Е.А. [17]	Модель организации самостоятельной работы на основе компетентностного подхода	Когнитивная ступень, деятельностьная ступень, контекстная ступень	Компетентностно-ориентированное обучение, методические материалы
Мамаева В.А. [24, с. 60–75]	Модель формирования готовности к самостоятельной работе	Познавательный, преобразовательный, творческо-аналитический	Индивидуальные образовательные траектории, инновационные технологии
Вахрушева О.В. [5, с. 55–71]	Модель организации самостоятельной работы курсантов военного вуза	Репродуктивно-подражательный, поисково-исполнительский, творческий	Синергетический подход, использование интерактивных и мультимедийных технологий
Баннов В.В. [19, с. 59–84]	Структурно-функциональная модель формирования готовности к самоконтролю	Мотивация и ориентировка, обучение, сопровождение, самостоятельность	Педагогический контроль, интерактивные цифровые курсы
Теплова Т.П. [21]	Процессная модель формирования алгоритмических умений самостоятельной работы	Адаптационный, репродуктивный, ситуативно-аналитический, перспективно-эвристический, автономный	Педагогический контроль, алгоритмизация деятельности
Сорокина Л.Л. [20]	Дидактическая модель организации самостоятельной работы	Интерактивно-продуктивный, креативно-технологический, субъектно-рефлексивный	Подготовка преподавателей, постепенный переход к самоконтролю студентов
Тедорадзе Т.Г. [16, с. 45–90]	Модель педагогического сопровождения самостоятельной работы студентов	Когнитивный, развивающий, аналитико-рефлексивный	Цифровые технологии, blended learning, педагогическое сопровождение
Ван Мэнчжу [8, с. 67–79]	Системная модель формирования познавательной самостоятельности	Целевой, технологический, диагностико-результативный	Межкультурный подход, цифровая образовательная среда
Ворновская А.А. [11, с. 79–106]	Модель формирования учебной автономии	Подготовительный, практический, рефлексивный	Цифровые технологии, поликультурная образовательная среда
Плотникова И.В. и др. [28]	Модель проектного обучения	Вовлечение студентов, выполнение междисциплинарных проектов, самостоятельная исследовательская деятельность	Проектные технологии, групповые формы работы
Косарева С.А. [23]	Модель педагогического сопровождения самоорганизации студентов	Подготовительный, основной (реализация ИОТ), контрольно-коррекционный	Индивидуальные образовательные траектории, проектная деятельность
Токранова Ю.Г. [22, с. 38–85]	Структурно-компонентная модель формирования ответственности студентов	Когнитивный, мотивационный, эмоциональный, регуляторный, результативный	Педагогическое сопровождение, социальные практики, самовоспитание
Коломиец О.М., Голубчикова М.Г. [6]	Модель интериоризации и экстериоризации знаний	Интериоризация (формирование внутреннего образа), экстериоризация (практическое применение)	Метасхемы ориентировки, опорные материалы
Власова Т.А., Королева Н.М., Костерина И.В. [12]	Модель педагогической поддержки личностно-профессиональной самоактуализации	Интерактивное взаимодействие, актуализация личностных смыслов, активизация поисковой активности	Интерактивные методы, аксиологическое воспитание, личностно-ориентированный подход

Источник: составлено авторами.

Таблица 3

Компоненты учебной самостоятельности

Компонент	Характеристика	Представлен в работах
Мотивационно-ценностный	Интерес к учебной деятельности, осознание целей	Мамаева В.А., Вахрушева О.В., Косарева С.А.
Когнитивный	Владение методами поиска и анализа информации	Лаврик Е.Ю., Иванова А.В., Пичугина Г.А.
Деятельностный	Умения планирования, организации деятельности	Плотникова И.В., Тедорадзе Т.Г.
Рефлексивно-оценочный	Навыки самоконтроля и самооценки	Телепова Т.П., Баннов В.В.
Эмоционально-волевой	Воля, настойчивость, ответственность	Парникова Г.М., Токранова Ю.Г.

Источник: составлено авторами.

Таблица 4

Понятия, близкие по смыслу к учебной самостоятельности

Понятие	Сущность	Структура и компоненты	Особенности
Учебная самостоятельность	Способность студента самостоятельно планировать, организовывать и контролировать учебную деятельность	Мотивационно-ценностный, когнитивный, деятельностный, рефлексивный компоненты	Основной акцент на самоорганизации, планировании, самоконтроле и оценке собственной учебной деятельности
Познавательная самостоятельность	Способность к самостоятельному осуществлению познавательной деятельности, включающей осознание, поиск и применение знаний	Мотивационно-целевой, когнитивный (знаниевый), деятельностный, оценочно-рефлексивный компоненты	Познавательная активность, интеллектуальная инициатива, стремление к самостоятельному поиску знаний
Профессиональная самостоятельность	Готовность студента самостоятельно выполнять профессиональные задачи и принимать профессионально значимые решения	Мотивационный, когнитивный, деятельностный, рефлексивный компоненты	Связь с профессиональной деятельностью, принятие профессионально ориентированных решений, самоанализ и самоорганизация профессиональной деятельности
Учебная автономия	Способность студента самостоятельно выбирать образовательные цели, методы и пути их достижения без систематического внешнего контроля	Мотивационный, когнитивный, регулятивный, рефлексивный компоненты	Минимизация внешнего контроля, субъектная позиция в образовании, использование цифровых и межкультурных образовательных сред, акцент на автономный выбор студентами образовательных траекторий
Самоактуализация	Процесс осознанного раскрытия и реализации индивидуальных и профессиональных возможностей личности	Личностно-смысловой, эмоционально-ценностный, поведенческий (деятельностный), рефлексивный компоненты	Акцент на личностный рост, саморазвитие, глубокое осознание личных и профессиональных целей и способностей, стремление к полной реализации индивидуального потенциала

Источник: составлено авторами.

На основе выделения компонентов учебной самостоятельности для раскрытия структуры данного феномена построена табл. 3.

Анализ научной литературы выявил еще одну существенную проблему, связанную с недостаточной степенью разгра-

ничения и терминологической четкости понятий, близких по смыслу к учебной самостоятельности: «познавательная самостоятельность», «профессиональная самостоятельность», «учебная автономия», «самоактуализация». Каждое из этих понятий

используется исследователями в контексте образовательного процесса, однако зачастую трактуется с взаимным пересечением компонентов и характеристик, что порождает неопределенность и трудности при диагностике, организации и оценке педагогических воздействий.

Уточнение и разграничение данных понятий является важной задачей, так как позволяет более точно понимать сущность каждого феномена и конкретизировать методы педагогического воздействия на развитие соответствующих качеств студентов (табл. 4).

Заключение

Проведенный теоретический обзор научных публикаций позволил определить основные подходы к изучению учебной самостоятельности студентов среднего профессионального и высшего образования. Установлено, что данный феномен трактуется исследователями как интегративное качество личности, включающее мотивационно-ценностный, когнитивный, деятельностный, рефлексивный и эмоционально-волевой компоненты. Анализ позволил выделить наиболее распространенные теоретические модели развития самостоятельности, среди которых преобладают поэтапные и интегративные подходы, ориентированные на постепенное усложнение учебной деятельности и расширение автономности студентов.

Выявлено, что значительное внимание уделяется использованию современных образовательных технологий: цифровых платформ, проектного обучения, кейс-методов и интерактивных форм работы. Вместе с тем в исследуемой области обнаружены существенные пробелы, главным из которых является недостаточно четкое разграничение понятийного аппарата («учебная самостоятельность», «познавательная самостоятельность», «профессиональная самостоятельность», «учебная автономия», «самоактуализация»), что создает трудности при диагностике и организации педагогического процесса.

Результаты обзора подчеркивают необходимость дальнейшей разработки единой концептуальной базы, уточнения терминологии, а также создания валидных диагностических методик и методических материалов, направленных на формирование и развитие учебной самостоятельности студентов профессионального образования.

Список литературы

1. Хребин М.В. Психологические особенности успешной самореализации студентов в условиях профессионального становления: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Ростов-на-Дону, 2019. 26 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dissercat.com/content/psikhologicheskie-osobennosti-uspeshnoi-samorealizatsii-studentov-v-usloviyakh-professionalnogo-stanovleniya> (дата обращения: 05.02.2025).
2. Борзова Т.А. Принципы организации СРС первого курса в технологии «перевернутый класс» // Высшее образование в России. 2018. Т. 27, № 8–9. С. 80–88. DOI: 10.31992/0869-3617-2018-27-8-9-80-88.
3. Ансимова Н.П., Беляева О.А. Метапредметные образовательные результаты школьников как основа формирования универсальных компетенций студентов // Ярославский педагогический вестник. 2018. № 5. С. 57–70. DOI: 10.24411/1813-145X-2018-10159.
4. Парникова Г.М. Концепция развития учебной самостоятельности студентов при обучении иностранному языку в регионально-этническом контексте (неязыковой вуз): автореф. дис. ... докт. пед. наук. Екатеринбург, 2018. 51 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100033114](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100033114) (дата обращения: 05.02.2025).
5. Вахрушева О.В. Методика обучения иностранному языку курсантов военного вуза в условиях самоорганизации: дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2018. 222 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://lunn.ru/page/vahrusheva-oksana-valerevna> (дата обращения: 05.02.2025).
6. Коломиец О.М., Голубчикова М.Г. Концептуальные положения развития учебной самостоятельности студентов в образовательном процессе // Мир науки, культуры, образования. 2019. № 1 (74). С. 306–308. URL: <https://amnko.ru/index.php/russian/journals/> (дата обращения: 05.02.2025).
7. Иванова А.В., Скрыбина А.Г., Дарбасова Л.А. Познавательная самостоятельность как психолого-педагогическая проблема в современном образовании // Мир науки, культуры, образования. 2019. № 5 (78). С. 139–142. DOI: 10.24411/1991-5497-2019-00056.
8. Ван М. Формирование познавательной самостоятельности студентов высшей школы в процессе изучения иностранного языка (на примере изучения русского языка студентами КНР): дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2024. 309 с. [Электронный ресурс]. URL: https://yspu.org/images/c/c9/Диссертация_Ван_Мэнчжу.pdf (дата обращения: 05.02.2025).
9. Павлова Л.В., Пулеха И.Р., Вторушина Ю.Л. Формирование познавательной самостоятельности студентов в процессе обучения иностранному языку в вузе // Перспективы науки и образования. 2018. № 6 (36). С. 85–96. DOI: 10.32744/pse.2018.6.9.
10. Ансори П.Б. Формирование профессиональной самостоятельности студентов педагогических вузов: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Душанбе, 2022. 32 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=500002076](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=500002076) (дата обращения: 05.02.2025).
11. Ворновская А.А. Формирование учебной автономии бакалавров лингвистики в поликультурной цифровой образовательной среде: дис. ... канд. пед. наук. Калининград, 2023. 211 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://kantiana.ru/postgraduate/dis-list/vornovskaya-anastasiya-aleksandrovna/> (дата обращения: 05.02.2025).
12. Власова Т.А., Королева Н.М., Костерина И.В. Модель педагогической поддержки развития у студентов способности к личностно-профессиональной самоактуализации: из опыта работы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Лингвистика и педагогика. 2018. Т. 8, № 1 (26). С. 147–155. URL: <https://linguistgu.elpub.ru/jour/issue/viewIssue/17/18> (дата обращения: 05.02.2025).
13. Tedja B., Al Musadieg M., Kusumawati A., Yulianto E. Systematic literature review using PRISMA: exploring the influence of service quality and perceived value on satisfaction and intention to continue relationship. // Future Business Journal 2024. Vol. 10. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s43093-024-00326-4> (дата обращения: 05.02.2025).

14. Лебедева К.С. Становление образовательной самостоятельности обучающихся: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Барнаул, 2020. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100049951](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100049951) (дата обращения: 05.02.2025).
15. Минина В.В. Формирование компетенции профессионального самоконтроля у студентов программ подготовки специалистов среднего звена: дис. ... канд. пед. наук. Великий Новгород, 2023. 149 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.novsu.ru/file/2074896> (дата обращения: 05.02.2025).
16. Тедорадзе Т.Г. Педагогическое сопровождение самостоятельной работы студентов в условиях цифровой образовательной среды: дис. ... канд. пед. наук. Краснодар, 2023. 206 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docspace.kubsu.ru/docspace/handle/1/1688> (дата обращения: 05.02.2025).
17. Храмова А.Е. Организация самостоятельной работы будущих экономистов в процессе математической подготовки на основе компетентностного подхода: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Казань, 2018. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100031035](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100031035) (дата обращения: 05.02.2025).
18. Мамаева В.А. Формирование готовности студентов к самостоятельной работе средствами инновационных технологий: дис. ... канд. пед. наук. Махачкала, 2018. 231 с. [Электронный ресурс]. URL: https://storage.ucomplex.org/files/dissertation/41/dissertation_file/0b870de9c2b09a4ae0c7fcb3270b0953.pdf (дата обращения: 05.02.2025).
19. Баннов В.В. Формирование готовности курсантов к самоконтролю учебно-профессиональной деятельности в образовательном процессе военного вуза: дис. ... канд. пед. наук. Омск, 2018. 204 с. [Электронный ресурс]. URL: https://omgpu.ru/sites/default/files/files/dis/6894/dissertaciya_bannov_v.v.pdf (дата обращения: 05.02.2025).
20. Сорокина Л.Л. Организация самостоятельной работы студентов профессиональных образовательных организаций на современном этапе развития образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Кемерово, 2018. 22 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100028927](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100028927) (дата обращения: 05.02.2025).
21. Теплова Т.П. Педагогический контроль как средство формирования алгоритмических умений самостоятельной работы будущих педагогов профессионального обучения: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Оренбург, 2019. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100045425](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100045425) (дата обращения: 05.02.2025).
22. Токранова Ю.Г. Развитие ответственности студентов за процесс и результаты профессионального образования: дис. ... канд. пед. наук. Казань, 2024. 230 с. [Электронный ресурс]. URL: https://kazgik.ru/kcontent/main/dissertation/tokranova-yuliya-gennadevna.php?clear_cache=Y (дата обращения: 05.02.2025).
23. Косарева С.А. Педагогическое сопровождение повышения уровня самоорганизации студентов: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Саратов, 2022. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100064726](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100064726) (дата обращения: 05.02.2025).
24. Гаврющенко Ю.Н. Развитие самостоятельности курсантов военных вузов на основе реализации задачного подхода: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2018. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100036385](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100036385) (дата обращения: 05.02.2025).
25. Норбаев Т.С. Активизация познавательной деятельности студентов вуза в процессе организации самостоятельной работы: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Душанбе, 2023. 32 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=500002518](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=500002518) (дата обращения: 05.02.2025).
26. Атяскина Т.В. Электронные ресурсы как средство формирования умений самообразования будущих техников-программистов: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Оренбург, 2018. 24 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.disserscat.com/content/elektronnye-resursy-kak-sredstvo-formirovaniya-umenii-samoobrazovaniya-budushchikh-tehnikov/read> (дата обращения: 05.02.2025).
27. Малиатаки В.В., Киричек К.А., Вендина А.А. Дистанционные образовательные технологии как современное средство реализации активных и интерактивных методов обучения при организации самостоятельной работы // Открытое образование. 2020. Т. 24, № 3. С. 56–66. DOI: 10.21686/1818-4243-2020-3-56-66.
28. Плотникова И.В., Редько Л.А., Шевелева Е.А., Ефремова О.Н. Проектная деятельность как составляющая часть научно-исследовательской деятельности студентов в вузе // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30669> (дата обращения: 05.02.2025). DOI: 10.17513/spno.30669.
29. Пичугина Г.А. Самостоятельная деятельность как средство развития самообразования // Балтийский гуманитарный журнал. 2018. Т. 7, № 4 (25). С. 280–283. URL: https://landrailbgz.ru/wp-content/uploads/2024/02/BGZ-2018-4_31.12.2018.pdf (дата обращения: 05.02.2025).
30. Петрова И.А. Методика развития познавательной самостоятельности студентов технического вуза при обучении информатике: дис. ... канд. пед. наук. Красноярск, 2018. 161 с. [Электронный ресурс]. URL: https://research.sfu-kras.ru/sites/research.sfu-kras.ru/files/Dissertaciya_Petrova_I.A.pdf (дата обращения: 05.02.2025).
31. Лаврик Е.Ю. Развитие иноязычной учебно-познавательной компетенции студентов туристического профиля: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Екатеринбург, 2019. 23 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100038378](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100038378) (дата обращения: 05.02.2025).
32. Ельникова Г.А., Давитян М.Г., Абакумова М.М. Проявление субъектности студенческой молодежи в общественной и частной жизни // Казанский социально-гуманитарный вестник. 2020. № 4 (45). С. 11–15. DOI: 10.24153/2079-5912-2020-11-4-11-15.
33. Тарханова И.Ю. Современные регуляторы становления новой дидактики высшего образования // Ярославский педагогический вестник. 2019. № 2 (107). С. 45–52. DOI: 10.24411/1813-145X-2019-10350.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 37.017.925

DOI 10.17513/snt.40382

**СУЩНОСТЬ И СТРУКТУРА
ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ВОСПИТАНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ****Исмаилова С.И.***ГБОУ ВО «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
Симферополь, e-mail: ipk.rvuzkipu@mail.ru*

В условиях глобализации и поликультурности общества вопросы этнокультурного воспитания приобретают особую актуальность, однако эффективные методы его реализации в современной образовательной системе требуют дальнейшего изучения. Целью данного исследования является определение сущности и структуры этнокультурного воспитания. В работе проанализированы научные статьи, посвященные вопросам этнокультурного воспитания в образовательной системе России, с использованием открытых электронных баз данных за 2015–2024 гг. Для анализа были отобраны 50 источников, 25 из которых указаны в списке литературы. Результаты исследования показывают, что этнокультурное воспитание рассматривается как многоаспектный процесс, включающий изучение истории, культуры, традиций и ценностей различных народов, с акцентом на формирование уважения к другим культурам, развитие эмпатии. В работе рассматривается этнокультурное воспитание в системе патриотического и гражданского воспитания. Обоснована актуальность этнокультурного воспитания в рамках современной системы образования. Рассматривается роль этнокультурного воспитания в формировании личности каждого ребенка. Отмечается, что важную роль в этнокультурном воспитании обучающихся играют не только образовательные учреждения, но и семья, а также учреждения дополнительного образования. Этнокультурное воспитание рассматривается как динамичная система, основанная на этнических ценностях и культурной идеологии. Рассматриваются особенности этнокультурного воспитания на различных этапах школьного образования. Также в статье выделена структура этнокультурного воспитания, включающая цели, задачи, компоненты, методы и принципы, описаны преимущества и специфические особенности реализации этнокультурного воспитания в поликультурном регионе на примере Республики Крым.

Ключевые слова: этнокультурное воспитание, патриотическое воспитание, обучающиеся, культура, школьное образование, народные традиции, народная педагогика

**THE ESSENCE AND STRUCTURE
OF ETHNOCULTURAL EDUCATION OF STUDENTS****Ismailova S.I.***Fevzi Yakubov Engineering and Pedagogical University of Crimea,
Simferopol, e-mail: ipk.rvuzkipu@mail.ru*

In the context of globalization and multiculturalism of society, issues of ethnocultural education are becoming especially relevant, but effective methods of its implementation in the modern educational system require further study. The purpose of this study is to determine the essence and structure of ethnocultural education. The paper analyzes scientific articles devoted to issues of ethnocultural education in the educational system of Russia, using open electronic databases for the period 2015–2024. 50 sources were selected for analysis, 25 of which are listed in the bibliography. The results show that ethnocultural education is considered as a multifaceted process that includes the study of history, culture, traditions and values of different peoples, with an emphasis on the formation of respect for other cultures, the development of tolerance and empathy. The paper considers ethnocultural education in the system of patriotic and civic education. The relevance of ethnocultural education in the framework of the modern education system is substantiated. The role of ethnocultural education in the formation of the personality of each child is considered. It is noted that an important role in the ethnocultural education of students is played not only by educational institutions, but also by the family, as well as institutions of additional education. Ethnocultural education is considered as a dynamic system based on ethnic values and cultural ideology. The features of ethnocultural education at various stages of school education are considered. The article highlights the structure of ethnocultural education, including goals, objectives, components, methods and principles, describes the advantages and specific features of the implementation of ethnocultural education in a multicultural region using the example of the Republic of Crimea.

Keywords: ethnocultural education, patriotic education, students, school education, culture, folk traditions, folk pedagogy

Введение

В условиях глобализации и возрастающей поликультурности общества вопросы сохранения национальной идентичности и формирования гармоничных межличностных отношений приобретают особую актуальность. Этнокультурное

воспитание, направленное на передачу традиций, ценностей и культурного наследия, рассматривается как важный инструмент формирования всесторонне развитой личности, способной к конструктивному взаимодействию в полиэтнической среде. Однако, несмотря на признание значимо-

сти, остаются не до конца раскрытыми вопросы, касающиеся эффективных методов и подходов к реализации этнокультурного воспитания в современной образовательной системе. Основой этнокультурного воспитания должен быть принцип уважения к каждой культуре и возможность для равноправного поликультурного диалога. При этом, хотя школы и должны поддерживать развитие этнокультурной идентичности учеников, порой на деле это не так просто реализовать. Этнокультурные аспекты недостаточно включены в учебные программы и внеклассные занятия, что мешает формированию у обучающихся понимания и уважения к разным культурам. Этнокультурное воспитание помогает детям осознать свою национальную идентичность, быть патриотами и успешно адаптироваться в обществе. Для этого учителям важно понимать сущность и структуру этнокультурного воспитания, развивать навыки работы с разными культурами и использовать новые образовательные технологии, чтобы дети учились терпимости и взаимопониманию.

Целью исследования является определение сущности и структуры этнокультурного воспитания. Исследование направлено на обобщение опыта и научных исследований в данной области для определения наиболее эффективных стратегий этнокультурного воспитания, способствующих гармоничной интеграции личности в поликультурное общество и сохранению культурного наследия.

Материалы и методы исследования

Для проведения данного исследования были проанализированы научные статьи, посвященные вопросам этнокультурного воспитания в образовательной системе России. Поиск источников осуществлялся в открытых электронных базах данных. Временной период поиска охватывал 2015–2024 гг. Ключевые слова, использованные для поиска: «этнокультурное воспитание», «поликультурное воспитание», «национальная идентичность», «патриотическое воспитание», «культурное наследие», «традиции», «ценности», «образовательная система». В результате поиска было найдено около 50 источников, из которых для анализа были отобраны 25 наиболее релевантных теме исследования и соответствующих критериям научности и актуальности. Основными методами исследования являются синтез, обобщение и анализ психолого-педагогической литературы, посвященной проблеме этнокультурного воспитания.

Результаты исследования и их обсуждение

Подход к воспитанию в современной образовательной системе смещает акцент с ребенка как объекта воздействия на ребенка как активного и равноправного участника процесса. В современном полиэтническом обществе в рамках общей воспитательной системы особенно актуальным становится этнокультурное воспитание подрастающего поколения. Этот процесс, по мнению Р.И. Моисеевой и Т.Н. Дутовой, является ключевым фактором в формировании личности, поскольку язык, традиции, обычаи и духовные ценности каждого народа играют важную роль в развитии лучших человеческих качеств [1].

В целом этнокультурное воспитание в России характеризуется сложным переплетением позитивных и негативных тенденций. С одной стороны, наблюдается стремление к «возвращению к истокам», возрождению религиозных традиций, верований, обрядов, ремесел и интереса к краеведению, что способствует этнокультурной самоидентификации народов России. С другой стороны, эти процессы могут сопровождаться изоляционизмом и даже сепаратизмом, подталкиваемым агрессивными националистами. В связи с этим ключевым аспектом этнокультурного воспитания в России является необходимость культурного осмысления и поддержки диалога народов, их «всеотзывчивости» друг к другу. Опыт тысячелетнего совместного существования, навыки адаптации и коллективистские установки, а также полиэтничность генофонда, формируют уникальные способности к возрождению и культурному диалогу. Этот исторический опыт и «алгоритм» культурного диалога могут быть успешно задействованы в решении национальных проблем и гармонизации межнациональных отношений [2].

Этнокультурное воспитание необходимо для того, чтобы люди разных национальностей могли мирно сосуществовать. Оно помогает детям и подросткам лучше понять свою культуру и традиции, а также уважать культуру других народов, что, в свою очередь, способствует формированию взаимопонимания и чувства принадлежности как к своей этнической группе, так и к стране в целом. Этнокультурное воспитание использует традиции и обычаи для всестороннего развития личности [3].

Различные исследователи предлагают свои взгляды на сущность этнокультурного воспитания, подчеркивая его многогранность и сложность. Так, по мнению ряда

авторов, этнокультурное воспитание представляет собой важную часть общественного воспитания, основанную на многовековом опыте народа. Оно является синтезом народной педагогики и результатом исторического «педагогического эксперимента», в ходе которого народ отбирал лучшие методы воспитания. Несмотря на стихийный характер формирования, этнокультурное воспитание содержит ценные приемы и методы, актуальные и вдохновляющие в современном образовании, особенно в трудовом, нравственном, умственном, физическом и эстетическом развитии личности [4].

С точки зрения С.Г. Тишулиной, этнокультурное воспитание ориентировано на формирование гражданина, сохраняющего свою социально-культурную идентичность, стремящегося к пониманию других культур и умеющего жить в мире и согласии с представителями разных национальностей [5].

В.Ф. Поберезкая и С.Н. Терентьева акцентируют внимание на практической необходимости этнокультурного воспитания в современных российских школах, особенно в регионах, где в одном классе обучаются дети разных национальностей. Авторы подчеркивают важность формирования у школьников уважения к другим культурам, традициям и истории народов России, а также развития дружелюбных и гуманных отношений между ними. Целью такого воспитания является формирование уважения к духовным ценностям многонациональной страны [6].

Таким образом, можно заключить, что этнокультурное воспитание необходимо для того, чтобы дети уважали свою культуру и культуру других народов. Оно помогает им узнать свои традиции и обычаи, а также понимать и уважать другие культуры. Важно, чтобы дети знали как национальный, так и государственный язык, чтобы чувствовать себя частью своей этнической группы и гражданами своей страны. Этнокультурное воспитание способствует всестороннему развитию ребенка, влияя на его социальное, духовное, нравственное, психическое и физическое состояние.

И.Д. Рудинский и Э.И. Ахмедова подчеркивают, что этнокультурное воспитание помогает ребенку ориентироваться в сложном поликультурном мире и развивает критическое мышление, что является необходимым для преодоления стереотипов и формирования позитивного восприятия представителей различных этнических групп. По мнению авторов, педагог, работающий в данном направлении, участвует в формировании жизненных ценностей, учит взаимодействию в многокультурной

среде, развивает эмпатию и этические нормы поведения [7].

Е.Л. Егорова и Е.Н. Сибиркина подчеркивают значимость интеграции культурного, образовательного и воспитательного пространства в условиях информатизации и межкультурной коммуникации. Они рассматривают этнокультурную направленность как проекцию образовательных систем на воспитание, обучение, развитие и социализацию личности как субъекта этноса и как гражданина многонационального государства. Именно поэтому так важно создавать условия для формирования профессиональной перспективы педагогов, закладывающие основы этнокультурной образовательной стратегии с учетом региональной составляющей [8].

По мнению Е.В. Птицыной, важным условием реализации этнокультурного компонента в образовании является наличие развитой системы образования и воспитания, пронизанной национальным компонентом. Эта система должна быть тесно связана с эстетическим воспитанием и основываться на широком использовании эстетических ценностей, созданных национальной культурой [9].

Исследователи-педагоги придают большое значение поликультурному и этнокультурному воспитанию детей. Важно учить детей понимать и уважать как свою культуру и традиции, так и культуру других народов. Нужно понимать, что этническая идентичность, то есть ощущение принадлежности к определенной этнической группе, не возникает сама по себе, а формируется через образование и воспитание. Такое образование помогает восстановить историческую память народа, передавая культурное наследие от поколения к поколению. Для достижения этих целей необходима хорошо продуманная и целостная система этнокультурного образования и воспитания.

Важность этнокультурного воспитания для образовательного процесса заключается в том, что оно знакомит детей с культурой разных народов, помогает им осознать свои корни, возрождает традиции и укрепляет связь между поколениями, передавая социальный опыт. Включение этнокультурных элементов в образование необходимо для сохранения и развития национальной культуры [10].

Именно поэтому в современных условиях, когда российская система образования делает акцент на всестороннем развитии личности, этнокультурное воспитание становится особенно актуальным. Оно является комплексным и междисциплинарным процессом, привлекающим внимание педагогов и ученых.

Этнокультурный компонент в учебных предметах и курсах играет важную роль в обучении и воспитании обучающихся. Он позволяет, опираясь на национальные традиции, культуру и историю народов, формировать у детей уважение к своей и другим культурам, способствуя тем самым единению и укреплению российского государства. Изучение этнокультурного материала закладывает базовые представления о многообразии культур, их формах и особенностях [11].

П.П. Бартаева акцентирует внимание на психологических и межличностных аспектах образовательной среды, подчеркивая важность этнокультурного окружения, включающего людей, объекты национальной культуры и предметы быта. Ознакомление с этим окружением, как отмечает автор, должно происходить постепенно, от близко-го к далекому [12].

В контексте сохранения культурного многообразия народов А.Л. Малеев и Е.В. Малеева отмечают положительное влияние мероприятий, направленных на развитие и сохранение культурного многообразия народов, на этнокультурное образование детей и молодежи, что подчеркивает необходимость активного вовлечения школьников во внеурочную деятельность, связанную с изучением и популяризацией культурного наследия [13].

Однако, как отмечают В.А. Тишков и В.В. Степанов, этнокультурное воспитание в России не лишено сложностей и противоречий. С одной стороны, существует потребность в учете региональных особенностей и культурного разнообразия. С другой стороны, есть опасения, связанные с возможным усилением национализма и этнической обособленности. Отсутствие четкого правового регулирования и недостаточная готовность школ брать на себя ответственность за выбор языка обучения и воспитания усугубляют существующие проблемы [14].

Ф.У. Базаева предостерегает от ограничения этнокультурного образования лишь усвоением знаний о традиционной культуре этноса. Важно, чтобы школьники овладели умениями и навыками межкультурной коммуникации в практической деятельности, сформировали ценностное отношение к культуре своего и других народов, осознали этническую принадлежность на уровне этнического самосознания и социализировались в поликультурной среде. Автор также отмечает, что многие педагоги недооценивают значение этнокультурного воспитания и не владеют достаточными знаниями и компетенциями для его реализации [15].

А.Б. Афанасьева поднимает вопрос о кризисе традиционных ценностей и необхо-

димости гармонизации гражданской и этнической идентичности. Важно, чтобы человек идентифицировал себя и как представителя определенного этноса, и как гражданина страны, связывая свою судьбу с судьбой государства [16].

Этнокультурное воспитание в школе играет важную роль в формировании духовно-нравственных ценностей и гражданской идентичности обучающихся. Ключевая фигура в этом процессе – учитель, который должен быть не только образованным, но и обладать верой в силу воспитания на ценностях родной культуры, а также быть поликультурным, способным создать атмосферу открытости в образовательном пространстве. Особенно это важно в поликультурных регионах, где учет национальных традиций и их влияния на школьников является неотъемлемой частью воспитательной работы [17].

Таким образом, можно подойти к идее о том, что в системе этнокультурного воспитания главенствующую роль занимает педагог и его собственные этнокультурные компетенции.

Этнокультурная компетентность – это важная способность человека, позволяющая ему успешно общаться и взаимодействовать с людьми из разных культур. Она включает в себя знания о культурах, умение правильно оценивать и адаптироваться к межкультурным ситуациям, а также создавать позитивную атмосферу. Разные подходы к определению этой компетентности подчеркивают важность как социологического понимания, так и глубокого изучения своей и чужих культур для развития понимания этнокультурной реальности.

Этнокультурная компетентность опирается на систему знаний о различных культурах, включая собственную, и умения, позволяющие эффективно взаимодействовать в межкультурной среде. Важно получать объективную информацию о культурах из разнообразных источников, чтобы избегать ошибочных суждений, стереотипов и предрассудков. Государственная национальная политика должна стремиться к распространению достоверной информации и пресечению ложных представлений о культурах. Практическое применение знаний в ситуациях межкультурного общения, включая выбор подходящих средств коммуникации и навыки разрешения конфликтов, способствует формированию этнокультурной компетентности и пониманию особенностей каждой культуры [18].

Так, С.Ц. Содномов и Г.Р. Даутова рассматривают этнокультурную компетентность как интегральное качество личности,

включающее в себя развитое этническое самосознание, знание этнокультурных особенностей своего региона и страны, а также владение этноэтикетом и умение применять этнокультурные знания на практике. Иными словами, это способность не только знать, но и понимать и использовать культурные особенности в повседневной жизни [19].

По мнению О.С. Павловой и Л.Ж. Назрановой, этнокультурной компетентностью важно обладать каждому квалифицированному педагогу, работающему в мультикультурной среде. Это значит, что он должен не только владеть обширным багажом информации о разных культурах, включая свою собственную, но и придерживаться гуманистических ценностей, уважать другие народы и уметь эффективно общаться и обучать детей из разных культур, используя разнообразие педагогические подходы, основанные на уважении и понимании. Иными словами, этнокультурная компетентность – это совокупность знаний, ценностей и практических навыков, необходимых педагогу для успешной работы в поликультурном коллективе [20].

Таким образом, чтобы дети росли всесторонне развитыми в культурном плане, педагоги должны быть этнокультурно компетентными. Они должны уметь использовать знания и методы для воспитания детей в духе уважения к разным культурам и национальностям. Данный момент предполагает интеграцию культурных аспектов во все учебные и воспитательные мероприятия. Однако на практике педагоги часто не получают достаточной подготовки в этой области, хотя именно они должны передавать и создавать этнокультурный опыт.

Н.Г. Егошина указывает на необходимость сохранения этнокультурной идентичности и формирования межкультурной грамотности. Однако анализ современного состояния этнокультурного образования выявляет проблемы, такие как поверхностное отражение традиций народной культуры, недостаточная преемственность между уровнями образования, отсутствие этнокультурного материала и преобладание репродуктивных методов преподавания [21].

Итак, анализ литературы показал, что этнокультурное воспитание рассматривается исследователями как многоаспектный процесс, включающий изучение истории, культуры, традиций и ценностей различных народов. Авторы отмечают важность формирования у обучающихся уважения к своей и другим культурам. Выделяются различные подходы к реализации этнокультурного воспитания в образовательной системе, включая интегрирование этнокультурного

компонента в учебные предметы, организацию внеурочной деятельности, направленной на изучение народных традиций и обычаев, а также использование активных методов обучения, способствующих вовлечению обучающихся в процесс познания и саморазвития. Отмечается тенденция к расширению использования информационных технологий и интерактивных методов в этнокультурном воспитании.

Проведенный анализ психолого-педагогической литературы позволяет выделить следующую структуру этнокультурного воспитания.

1. Целевой компонент: определяет цели и задачи этнокультурного воспитания, направленные на формирование этнического самосознания, уважения к своей культуре и к культурам других народов (А.М. Салаватова, В.Ю. Кованцова) [22]. Содержательный компонент: включает в себя отбор и систематизацию знаний о культуре своего народа и других этносов, а также формирование ценностных ориентаций и установок (Т.В. Безродных) [23].

2. Деятельностный компонент: предусматривает организацию различных видов деятельности, направленных на освоение этнокультурных ценностей, развитие межличностного взаимодействия и формирование практических навыков (И.А. Закирьнова, А.Г. Михайлова) [24].

3. Оценочно-результативный компонент: включает в себя критерии и показатели эффективности этнокультурного воспитания, а также методы оценки достигнутых результатов (Б.А. Тахохов) [25].

Заключение

Обзор современных исследований показал, что сущность этнокультурного воспитания в современной школе заключается в создании условий для формирования гармоничной и социально ответственной личности, обладающей развитым этническим самосознанием, уважающей культурное многообразие мира и готовой к конструктивному взаимодействию с представителями разных культур и народов. Достижение этой цели требует комплексного подхода, включающего интеграцию этнокультурного компонента в образовательный процесс, подготовку педагогов, владеющих необходимыми компетенциями, а также создание благоприятной образовательной среды, способствующей развитию межкультурного диалога и взаимопонимания. Важно помнить, что этнокультурное воспитание – это не только передача знаний, но и формирование ценностных ориентиров, убеждений и моделей поведения, не-

обходимых для успешной адаптации и самореализации в современном многонациональном обществе.

Список литературы

1. Моисеева Р.И., Дутова Т.Н. Этнокультурное воспитание путем изучения жизнедеятельности коренных малочисленных народов Томской области // Этническая культура. 2020. № 2 (3). С. 35–38. DOI: 10.31483/г-74957.
2. Протанская Е.С. Этнокультурное просвещение детей в формировании ценностей современной России // Вестник СПбГУКИ. 2017. № 4 (33). С. 24–31. DOI: 10.30725/2619-0303-2017-4-24-31.
3. Байсиева Л.К., Дзагаштова С.Т. Проблемы этнокультурного воспитания в современной школе // Педагогический журнал. 2023. Т. 13, № 10А. С. 191–197. DOI: 10.34670/AR.2023.51.14.012.
4. Имангаликова И., Козлова Л., Лазарян Н. Этнокультурное воспитание – важный аспект в педагогике // Евразийский союз ученых. 2021. № 4 (85). С. 4–5. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.2.85.1327.
5. Тишулина С.Г. Теоретико-методологические основы проектирования этнокультурной организации // Наука и школа. 2021. № 3. С. 94–100. DOI: 10.31862/1819-463X-2021-3-94-100.
6. Поберезкая В.Ф., Терентьева С.Н. Модель формирования этнокультурной компетентности у будущих учителей начальных классов (на примере ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина») // Человек. Культура. Образование. 2023. № 4. С. 149–167. DOI: 10.34130/2233-1277-2023-4-149.
7. Рудинский И.Д., Ахмедова Э.И. Культурно-досуговая деятельность как элемент этнокультурного воспитания младших школьников в учреждении дополнительного образования // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Филология, педагогика, психология. 2024. № 3. С. 82–94. DOI: 10.5922/vestnikpsy-2024-3-8.
8. Егорова Е.Л., Сибиркина Е.Н. Опыт реализации этнокультурного образования в вузе (на примере ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина») // Гуманитарный научный вестник. 2021. № 12. С. 76–81. DOI: 10.5281/zenodo.5803352.
9. Птицына Е.В. Этнокультурное воспитание будущего учителя в образовательном процессе университета // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 2. С. 69–73. DOI: 10.17513/snt.39935.
10. Птицына Е.В., Сидорова Е.М. Практические аспекты этнокультурного воспитания студентов средствами декоративно-прикладного творчества // Научное обозрение. Педагогические науки. 2022. № 3. С. 30–34. DOI: 10.17513/srps.2432.
11. Ахаева Л.Р. Конкурсные мероприятия как компонент интегрированной модели этнокультурного образования в Кабардино-Балкарской Республике // Поиск научных решений. 2024. № 1. С. 59–71. DOI: 10.61077/2949-4818-2024-1-59-71.
12. Бартаева П.П. Этнокультурное воспитание детей старшего дошкольного возраста на примере семейских Бурятии // Школа будущего. № 6. 2022. С. 124–133. DOI: 10.55090/19964552_2022_6_124_133.
13. Малеев А.Л., Малеева Е.В. Педагогический опыт реализации этнокультурного образования в Свердловской области // Управление образованием: теория и практика. 2024. Т. 14, № 11–1. С. 189–194. DOI: 10.25726/o3397-8355-7034-d.
14. Тишков В.А., Степанов В.В. Межэтнические отношения и этнокультурное образование в России // Вестник Российской академии наук. 2017. Т. 87, № 10. С. 879–890. DOI: 10.7868/S0869587317100024.
15. Базаева Ф.У. Методологические аспекты формирования этнокультурной компетентности педагогических вузов // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2021. Т. XVII. № 4 (26). DOI: 10.34708/GSTOU.2021.57.47.008.
16. Афанасьева А.Б. Этностудия «Родники. Введение в народоведение» как средство гармонизации этнической и гражданской идентичности школьников // Ученые записки Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 14, № 2. С. 54–61. DOI: 10.21209/2658-7114-2019-14-2-54-61.
17. Ижбулдина Л.Ю., Синагатуллин И.М., Горная Т.И. Особенности этнокультурного воспитания учащихся начальной школы // Педагогический журнал. 2023. Т. 13, № 1А. С. 38–44. DOI: 10.34670/AR.2023.41.77.004.
18. Петрухина Д.В. Место этнокультурной компетентности в формировании общероссийской гражданской идентичности // Вестник антропологии. 2020. № 1 (49). С. 225–230. DOI: 10.33876/2311-0546/2020-49-1/225-230.
19. Содномов С.Ц., Даутова Г.Р. Исследование сформированности этнокультурной компетентности обучающихся 5-х классов на уроках родного (башкирского) языка // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 2 (140). С. 1–9. DOI: 10.23670/IRJ.2024.140.91.
20. Павлова О.С., Назранова Л.Ж. Этнокультурная компетентность педагога в условиях среды с полиэтническим составом воспитанников // Психологическая наука и образование psyedu.ru. 2015. Т. 7, № 2. С. 35–47. DOI: 10.17759/psyedu.2015070204.
21. Егوشيная Н.Г. Этнокультурное образование: теоретические основы и практика реализации // THEORIA: педагогика, экономика, право. 2022. Т. 3, № 1. С. 57–65. DOI: 10.51635/27129926_2022_1_57.
22. Салаватова А.М., Кованцова В.Ю. Этнокультурное воспитание студентов в образовательной среде вуза // Мир науки. Педагогика и психология. 2021. Т. 9, № 6. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/22PDMN621.pdf> (дата обращения: 30.02.2025).
23. Безродных Т.В. Развитие субъектных проявлений дошкольников посредством этнокультурных мастерских в дошкольных образовательных организациях // Ученые записки Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 18, № 1. С. 107–114. DOI: 10.21209/2658-7114-2023-18-1-107-114.
24. Закирьянова И.А., Михайлова А.Г. Этнокультура в системе духовно-нравственного воспитания // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Гуманитарные и общественные науки. 2023. Т. 7, № 1. С. 21–29. DOI: 10.21603/2542-1840-2023-7-1-21-29.
25. Тахохов Б.А. Формирование этнокультурной компетентности учащихся в контексте глобализации // Science for Education Today. 2019. Т. 9, № 4. С. 73–92. DOI: 10.15293/2658-6762.1904.05.

СТАТЬЯ

УДК 681.5.03

DOI 10.17513/snt.40383

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ****Федорович Н.Н., Кравченко П.Г.***ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,
e-mail: fedorovichn@mail.ru*

Цель исследования – разработка предложений по совершенствованию метрологического обеспечения на производстве и повышению качества измерений при внедрении автоматизации процесса измерений. Точность учета продукции, ее себестоимость, издержки производства зависят от качества измерительного процесса. Качество измерений определяет, как правило, метрологическое обеспечение на предприятии, включающее комплекс организационно-технических мероприятий, технических средств, правил и норм, обеспечивающих единство и требуемую точность измерений. Перспективным является комплексность решения вопросов улучшения материально-технической базы и разработки новых методических документов по выполнению требуемых измерений. В статье рассмотрена возможность улучшения технической и нормативно-методической базы метрологического обеспечения автозаправочных станций. Предложено применение подобранных электронных плотномеров и термометров, которое позволяет практически полностью исключить и сократить количество ошибок, связанных с «человеческим фактором», а также уменьшить время на выполнение измерений при отсутствии операции извлечения нефтепродукта из резервуара и повысить точность результатов. Представлены предложения по автоматизации процесса измерений путем использования системы измерений «Струна+», оценка пригодности которой подтверждена приведенными в работе результатами в процессе ее тестового использования. Улучшение материально-технической базы измерений потребовало введения предложений по дополнениям в эксплуатационную документацию, в том числе по нахождению и устранению несоответствий при применении автоматизированной системы измерений в рабочем режиме. Внедрение данной системы позволяет перевести автозаправочные станции на полностью автоматизированный коммерческий учет как при приемке, так и при отпуске нефтепродуктов.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, измерительные приборы, нефтепродукты, единство и точность измерений, автоматизированная система измерений, методическая документация

**IMPROVEMENT OF METROLOGICAL SUPPORT TO IMPROVE
THE QUALITY OF MEASUREMENTS AT ENTERPRISES****Fedorovich N.N., Kravchenko P.G.***Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: fedorovichn@mail.ru*

The aim of the work is to develop proposals for improving metrological support in production and increasing the quality of measurements when implementing automation of the measurement process. The accuracy of accounting for products, their cost price, production costs depend on the quality of the measurement process. The quality of measurements is usually determined by metrological support at the enterprise, including a set of organizational and technical measures, technical means, rules and regulations that ensure the unity and required accuracy of measurements. A comprehensive solution to the issues of improving the material and technical base and developing new methodological documents for performing the required measurements is promising. The article considers the possibility of improving the technical and regulatory framework for metrological support of gas stations. It is proposed to use selected electronic densitometers and thermometers, which allows almost eliminating and reducing the number of errors associated with the "human factor", as well as reducing the time for performing measurements in the absence of the operation of extracting oil products from the tank and increasing the accuracy of the results. Proposals are presented for automating the measurement process by using the Struna+ measurement system, the suitability of which is confirmed by the results presented in the work during its test use. Improving the material and technical base of measurements required the introduction of proposals for additions to the operational documentation, including finding and eliminating discrepancies when using the automated measurement system in the operating mode. The implementation of this system allows transferring gas stations to fully automated commercial accounting both when accepting and when dispensing petroleum products.

Keywords: metrological support, measuring devices, petroleum products, unity and accuracy of measurements, automated measurement system, methodological documentation

Введение

Измерения являются неотъемлемой частью современного производственного процесса. От качества измерительного процесса зависит точность учета продукции, ее себестоимость, издержки производства. Для реализации измерений на предприятии

необходимо метрологическое обеспечение, предполагающее комплекс организационно-технических мероприятий, технических средств, правил и норм, обеспечивающих единство и требуемую точность измерений [1]. Наиболее перспективный подход к совершенствованию метрологического обеспечения включает комплексность,

рассматривая одновременно расширение и улучшение базы измерительных средств, а также разработку новых нормативно-методических материалов для их обслуживания на производстве [2, 3].

Цель исследования – разработка предложений по совершенствованию метрологического обеспечения на производстве и повышению качества измерений при внедрении автоматизации процесса измерений.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был рассмотрен процесс измерений на автозаправочных станциях ООО «Газпром сеть АЗС» в Краснодарском крае (АЗС). Известно, что большое внимание уделяют контролю в процессе переработки нефти [4]. Для потребителя не менее важно качество измерений на стадии отпуска нефтепродуктов, определяемое состоянием метрологического обеспечения на предприятии. На АЗС метрологическое обеспечение влияет на требуемую точность измерений при количественном учете нефтепродуктов при приеме, хранении, размещении товарных запасов и отпуске, а также при определении показателей качества нефтепродуктов [5]. Эта деятельность включает применение аттестованных методик выполнения измерений, правильный выбор, содержание и эксплуатацию средств измерений, постоянный контроль за погрешностью средств измерений для определения количества нефтепродуктов в резервуарах и измерения количества отпускаемых нефтепродуктов. Учет продукции на АЗС осуществляется прибавлением поступающего объема топлива к остаткам нефтепродуктов в резервуаре. Из полученной суммы вычитается значение продаваемого объема топлива. Результаты при закрытии смены вручную вносятся в сменный отчет операторами, согласно которому формируется учет продаж и поступления нефтепродуктов на АЗС [6].

В процессе работы был рассмотрен существующий процесс измерений показателей нефтепродуктов и комплекс используемых средств измерений. Все нефтепродукты, поставляемые нефтеперерабатывающими заводами ООО «Газпром сеть АЗС», имеют паспорта качества, что подтверждает соответствие показателей их качества действующим нормативным документам. На АЗС применяются приборы, которые позволяют вести учет массы топлива по следующим показателям: уровень нефтепродукта в резервуарах (метроштоки, рулетки с лотом), плотность (ареометры), температура (термометры стеклянные

ртутные), доза отпуска нефтепродукта. Проводятся дополнительные расчеты с таблицами для резервуаров и трубопроводов системы, которые позволяют все показатели нефтепродукта, полученные при разных условиях, приводить к стандартным условиям [7].

Для сравнения исследована процедура измерений показателей нефтепродуктов с применением предлагаемых к внедрению средств измерений: электронных плотномеров, термометров, системы измерительной «Струна +» в соответствии с руководствами по их эксплуатации [8–10]. Рекомендательный плотномер является портативным (переносным), может использоваться для измерения плотности, вязкости и температуры жидкостей. Для измерения применяется метод погружения оператором датчика плотности-температуры прибора в исследуемую жидкость непосредственно через горловину заливного люка емкости. Измерения можно проводить в любых емкостях (вертикальные и горизонтальные резервуары для хранения, железнодорожные и автоцистерны). Продолжительность установления показаний температуры электронного блока рекомендуемого термометра в тестируемой среде не более 5 с, прибор снабжен USB-входом и кнопками обновления показателей. Измерительная система «Струна +» фиксирует изменения уровней топлива в резервуарах, измеряет его плотность и температуру на различных уровнях, обрабатывает первичную информацию и вычисляет его объем и массу, работает в постоянном режиме предоставления данных оператору и может фиксировать утечку нефтепродукта при неконтролируемом уменьшении уровня в резервуаре [11]. Описание и анализ несоответствий при выполнении испытаний объектов рассмотрены авторами в соответствии с [12, 13]. Контрольные проверки отпуска нефтепродуктов через топливораздаточные колонки на АЗС предусмотрены ГОСТ Р 58404 [14]. Они направлены на предотвращение протечки топлива, возникновения недолива или перелива. Оценка дозы отпуска нефтепродукта проводится на основе МИ 1864 [15].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований было установлено, что на достоверность результатов, полученных с помощью применяемых средств измерений на АЗС, большое влияние оказывают различные факторы, которые влияют на качество результатов работы, увеличивают время обслуживания

клиентов, что приводит к возрастанию финансовых издержек предоставления услуг АЗС. При учете массы продукта возникает большой объем вычислений. Много времени занимают расчеты с помощью специальных таблиц (калибровочных, градуировочных, с поправочными коэффициентами) для разных цистерн и резервуаров. Существенное влияние на эффективность работы АЗС оказывает так называемый «человеческий фактор», определяющий большое количество ошибок при проведении измерений и вычислении результатов. Уменьшить или полностью ликвидировать эти факторы, сократить время замеров позволяют современные электронные и автоматизированные средства измерений, отличающиеся повышенной точностью, достоверностью и уменьшенным значением допустимой погрешности.

На АЗС переход на автоматизированный способ проведения измерений показателей нефтепродуктов рекомендуем осуществить путем замены ареометров и ртутных термометров электронными переносными плотномерами. В результате сравнения метрологических характеристик плотномеров, предлагаемых на рынке и применяемых на производстве, был выделен переносной плотномер ПЛОТ-3Б-1П-20А, отличающийся наибольшей точностью результатов измерений, полученных при экспериментальных замерах на АЗС г. Краснодара при тестовой эксплуатации в производственных условиях в течение 15 дней, средние значения которых приведены в табл. 1.

Для плотномера ПЛОТ-3Б-1П-20А установлено, что измеренные показатели не превышали предельно допустимых значений, а именно отклонения составили по плотности при 15 °С – не более 0,3 кг/м³, по температуре – не более 1,0 °С. Преимущества электронного плотномера: безопасное для оператора измерение, высокая точность измерений, широкий диапазон измерений, удобство использования, экономичность.

Таким образом, предлагаемый электронный плотномер обеспечивает требуемую точность, что позволяет его применять на АЗС для измерения параметров нефтепродуктов с допустимыми погрешностями. Для практического внедрения электронного плотномера на АЗС была разработана инструкция «Порядок проведения контроля метрологических характеристик плотномера», в соответствии с которой осуществлялся контроль результатов, полученных с использованием плотномера и традиционных средств измерений.

Предлагаем также на АЗС применять электронные термометры взамен ртутных. Отказаться от использования термометра на АЗС, даже с учетом применения, предложенного выше переносного плотномера, который имеет встроенный персональный термометр, нельзя, так как невозможно выполнение технологических проливов топливораздаточной колонки в соответствии с регламентом контрольных проверок, установленным в эксплуатирующей АЗС организации. Измерение температуры необходимо для контроля работы оборудования и обеспечения нормированных показателей точности учета топлива.

Таблица 1

Метрологические характеристики плотномеров
при тестовой эксплуатации на АЗС

Нефтепродукт	Тип средства измерений					
	ПЛОТ-3Б-1П-20А			Ареометр (контрольные значения)		
	Температура, °С	Плотность измеренная, кг/м ³	Плотность при 15°С, кг/м ³	Температура в отобранной пробе, °С	Плотность измеренная, кг/м ³	Плотность, приведенная к 15°С, кг/м ³
АИ-92-К5	5,2	747,6	738,6	5,0	748,0	739,0
ДТ-З-К5	5,9	836,7	830,1	6,0	837,0	830,6
АИ-95-К5	5,1	750,9	741,3	5,0	751,0	742,0
Отклонения значений измеренных величин с помощью ПЛОТ-3Б-1П-20А от контрольных значений						
	Температура, °С			Плотность при 15 °С, кг/м ³		
АИ-92-К5	0,2			-0,4		
ДТ-З-К5	-0,1			-0,5		
АИ-95-К5	0,1			-0,7		

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Показатели нефтепродуктов на АЗС при тестовых замерах

Резервуары Вид нефтепродукта	Ручной замер		«Струна+»		Разница в показаниях («ручной замер» – «Струна+»)	
	Плотность, кг/м ³	Температура, °С	Плотность кг/м ³	Температура, °С	плотности	температуры
РГС № 1 ДТ-К5	828,0	17,0	828,700	14,500	0,7	2,5
	828,0	16,0	828,800	14,500	0,8	1,5
РГС № 2 АИ-92-К5	742,5	13,5	738,300	13,300	4,2	0,2
	743,5	12,5	738,500	13,300	5,0	-0,8
РГС № 3 ДТ-К5	828,0	16,0	828,700	13,600	4,3	2,4
	828,5	16,6	828,700	13,600	4,8	1,9
РГС № 4 АИ-92-К5	746,0	13,5	741,300	13,300	4,7	0,2
	746,0	13,5	741,400	13,300	4,6	0,2

Источник: составлено авторами.

Для измерений и контроля температуры в резервуарах для хранения нефтепродуктов, представляющих взрывоопасные зоны, предлагаем использовать термометр электронный Termex ExT-01/2-6, который предназначен для указанных промышленных сред и имеет ряд преимуществ по сравнению со стеклянными ртутьсодержащими. Метрологические характеристики рекомендуемого прибора включают широкий температурный диапазон измеряемых температур от -50 до +130°С, при этом предел допускаемой основной абсолютной погрешности измерений не превышает $\pm 0,1^\circ\text{C}$, что соответствует требуемой точности учета нефтепродуктов на АЗС. Прибор удобен в использовании, компактен, безопасен для операторов.

Считаем, что рутинные операции при учете продукции на АЗС целесообразней выполнять с помощью автоматизированной измерительной системы «Струна +», которая имеет возможность подключения и интегрирования данных в систему управления АЗС, может выполнять функции контроля за учетом количества топлива в горизонтальных стальных резервуарах, при этом являясь самостоятельной единицей оборудования.

Сравнительные данные замеров плотности и температуры нефтепродуктов, представленные в табл. 2, полученные при экспериментальных замерах на АЗС г. Краснодара, при тестовой эксплуатации в производственных условиях показывают эффективность измерительной системы «Струна+», в комплектацию которой на АЗС целесообразно включить для каждого резервуара первичные преобразователи параметров

всех измеряемых показателей, датчики уровня, температуры и загазованности.

При запуске в тестовом режиме измерительной системы «Струна+» установлены отклонения метрологических характеристик на некоторых объектах АЗС, что показало необходимость проведения юстировки оборудования и внесения в регламент обслуживания оборудования дополнений по обязательному проведению мониторинга показателей системы на основе разработанной методики сверки с показаниями контрольно-измерительных приборов (электронный плотномер).

Длительная остановка каждой топливораздаточной колонки в период внутренней проверки вызывает значительное увеличение общего времени обслуживания оборудования, уменьшение пропускной способности АЗС, возникновение конфликтных ситуаций, появление очередей, что приводит к снижению прибыли организации. Поэтому считаем, что выполнение всех указанных в применяемой методической инструкции последовательных операций нецелесообразно.

Для проведения ежемесячных технологических проливов топливораздаточной колонки разработана инструкция по контролю выполнения операций процесса технологического пролива. При разработке проекта инструкции особое внимание было уделено расчетной части, так как расчеты при пограничных показаниях допустимой погрешности в случае неверных вычислений со стороны персонала могут привести к ошибочной выдаче дозы нефтепродуктов топливораздаточной колонкой и оказаться критичными. Определение значений до-

пустимой погрешности топливораздаточной колонки или оперативного выявления неисправностей рекомендовано в разработанном проекте инструкции проводить с применением электронной таблицы. Это позволяет автоматизировать все расчеты, включая приведение полученных значений к требуемой температуре, что минимизирует трудозатраты и повысит скорость получения результатов.

В предлагаемом проекте инструкции установлена обязанность сотрудника, ответственного за проведение технологических проливов топливораздаточных колонок на АЗС, по внесению в электронную таблицу только значений результатов выполненных измерений. Относительная погрешность с учетом приведения показаний к стандартной температуре 20 °С будет определена автоматически. Формулы, применяемые для автоматического расчета итогового значения относительной погрешности, представлены в приложении разработанной инструкции. В электронной таблице есть возможность использовать элементы визуализации, полученных контрольных результатов. Желтым цветом подсвечивается ячейка с расчетным значением дозы отпуска нефтепродукта, если результат находится в пределах допустимой погрешности. Если показатель дозы отпуска нефтепродукта топливораздаточной колонкой выходит за диапазон допустимой погрешности, то в случае недолива ячейка подсвечивается зеленым цветом, и в случае перелива – красным цветом.

Заключение

В работе представлены предложения по автоматизации процесса измерений путем улучшения технической и методической базы метрологического обеспечения АЗС. Рекомендованы к применению электронные плотнометры и термометры, которые позволяют практически полностью исключить и сократить количество ошибок, связанных с «человеческим фактором», а также повысить достоверность и точность результатов измерений показателей нефтепродукта. Затраты времени на проведение измерений сокращены вследствие того, что при этом не требуется непосредственного извлечения нефтепродукта из резервуара. Показаны результаты по оценке пригодности системы измерений «Струна+» в процессе тестового использования и представлены предложения по дополнениям в эксплуатационную документацию по нахождению и устранению несоответствий при ее применении в рабочем режиме. Предложено внедрение

данной системы, которое позволит перевести АЗС на полностью автоматизированный коммерческий учет при приемке и отпуске нефтепродуктов.

Предлагаемый методический документ о проверке точности отпуска нефтепродуктов на АЗС структурирует и упрощает процесс выполнения контроля проливов теплораздаточной колонки, а автоматизация расчетов погрешности с помощью электронной таблицы делает простым, быстрым и доступным вывод о возможности работоспособности оборудования.

Список литературы

1. Бегунов А.А., Абдуллаев А.Х. Показатели качества продукции, технологические параметры и нормы точности их измерения // Контроль качества продукции. 2021. № 5. URL: <https://ria-stk.ru/mos/adetail.php?ID=199328&ysclid=m7k3uwtdk935354326> (дата обращения: 15.02.2025).
2. Федорович Н.Н., Любимова Е.А. Перспективы совершенствования метрологического обеспечения процессов производства // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей 12-й Международной научно-практической конференции (Курск, 01 ноября 2022 г.). Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 374–377.
3. Сариги Н.В. О метрологическом обеспечении технического уровня и качества продукции в машиностроении // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве: сборник статей X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Екатеринбург, 18 мая 2023 г.). Екатеринбург: РГППУ, 2023. С. 114–118.
4. Федорович Н.Н., Федорович А.Н., Ляшук Я.В. Совершенствование системы контроля процесса переработки нефти // Фундаментальные исследования. 2018. № 7. С. 29–33. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=42202> (дата обращения: 15.02.2025).
5. Волгушев А.Н., Сафонов А.С., Ушаков А.И. Автозаправочные станции: Оборудование. Эксплуатация. СПб.: ДНК, 2001. 176 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.bolohovom.ru/doc/avtozapr_stanzii.pdf?ysclid=m7k513z1qx707252271 (дата обращения: 15.02.2025).
6. Щербакова Т.Р., Воронин К.С. Учет операций на АЗС посредством метрологического обеспечения // Нефтегазовый терминал. Выпуск 18: сборник научных трудов международной научно-технической конференции имени профессора Н.А. Малюшина (Тюмень, 15 марта 2020 г.) / Под общ. ред. М.А. Александрова. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. С. 320–325.
7. Аралов О.В., Буянов И.В., Воробьев С.И., Кацал И.Н., Лисин Ю.В., Золотухин О.Е. Современное состояние ведения учетных операций с нефтью и нефтепродуктами с применением измерительных систем в России. М.: Недра, 2019. 246 с. [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_012094031/ (дата обращения: 15.02.2025).
8. АУТП.414122.021РЭ Руководство по эксплуатации. Плотномер «ПЛОТ-3Б-1П». Арзамас: ЗАО «Авиатех», 2020. 51 с. [Электронный ресурс]. URL: https://aviatech.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2020/09/AVT_PLOT-3B-1P_RE.pdf?ysclid=m7k5jw1vkw762859439 (дата обращения: 15.02.2025).
9. ТКЛШ 2.822.001РЭ Руководство по эксплуатации. Термометры электронные ExT-01. Томск: ООО «Термэкс», 2019. 32 с. [Электронный ресурс]. URL: https://ptp.by/zip/REN_

ExT_01_2012_file_545_1733.pdf?ysclid=m7k7kriocn168068255 (дата обращения: 15.02.2025).

10. КШЮЕ.421451.002РЭ Руководство по эксплуатации. Системы измерительные «СТРУНА+». Королев: ЗАО «НТФ «НОВИНТЕХ», 2015. 103 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rodisgroup.ru/wp-content/uploads/2016/01/Rukovodstvo-po-e%60kspluatatsii-STRUNA-.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).

11. Системы измерительные «СТРУНА+»: описание типа средства измерений, рег. № 58711-14, утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 04 июня 2024 г. № 1362 // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/371793> (дата обращения: 16.02.2025).

12. Федорович Н.Н., Апинян А.С. Анализ потенциальных несоответствий при проведении испытаний нефтепро-

дуктов // Материалы конференций ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ» (Санкт-Петербург, 25–30 июня 2018 г.). Сборник избранных статей. СПб.: ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ», 2018. С. 60–62.

13. Федорович Н.Н., Горшкова Н.В., Федорович А.Н. Проведение оценки состояния измерений в лаборатории для подтверждения ее компетентности // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 12 (114). С. 116–119. URL: [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/114/sb-12\(114\)-2020-main.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/114/sb-12(114)-2020-main.pdf) (дата обращения: 16.02.2025).

14. ГОСТ Р 58404-2019 Станции и комплексы автозаправочные. Правила технической эксплуатации. М.: Стандартинформ, 2019. 50 с.

15. МИ 1864-2020 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Колонки топливораздаточные. Методика поверки. СПб.: ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 2020. 22 с.