



ИД «Академия Естествознания»

**СОВРЕМЕННЫЕ  
НАУКОЕМКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ**

**Научный журнал**

**№ 11 2024**



**MODERN  
HIGH  
TECHNOLOGIES**

**Scientific journal**

**No. 11 2024**



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). К1.

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. Айдосов 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. Беззубова М.М. (Санкт-Петербург); д.п.н., проф. Безрукова Н.П. (Красноярск); д.т.н., доцент, Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.т.н., доцент, Бессонова Л.П. (Воронеж); д.п.н., доцент, Бобыкина И.А. (Челябинск); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.п.н., проф. Бутов А.Ю. (Москва); д.т.н., доцент, Быстров В.А. (Новокузнецк); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.т.н., проф. Герман-Галкин С.Г. (Щецин); д.т.н., проф. Германов Г.Н. (Москва); д.т.н., проф. Горбатюк С.М. (Москва); д.т.н., проф. Гоц А.Н. (Владимир); д.п.н., проф. Далингер В.А. (Омск); д.псх.н., проф. Долгова В.И. (Челябинск); д.э.н., проф. Делятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.псх.н., проф. Дубовицкая Т.Д. (Сочи); д.т.н., доцент, Дубровин А.С. (Воронеж); д.п.н., проф. Евтушенко И.В. (Москва); д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.т.н., проф. Завражнов А.И. (Мичуринск); д.п.н., доцент, Загrevский 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. Ижуктин 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. Кузлякина 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. Марис 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.п.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. (Ожно-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. Страбькин 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](http://top-technologies.ru/ru)

Правила для авторов: [top-technologies.ru/ru/rules/index](http://top-technologies.ru/ru/rules/index)

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,940

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,355

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»

410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

29.11.2024

Дата выхода номера

28.12.2024

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

31,5

Тираж

1000 экз.

Заказ

СНТ 2024/11

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. Aidov (Almaty); D.Sc., Prof. S.V. Alekseev (Irkutsk); D.Sc., Prof. V.Z. Alov (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. Belozerov (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. Zavrzhnov (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. Chervikov 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](http://top-technologies.ru/ru)**

**Rules for authors: [top-technologies.ru/ru/rules/index](http://top-technologies.ru/ru/rules/index)**

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

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

<b>Periodicity</b>	12 issues per year		
<b>Founder, publisher and editors</b>	LLC PH Academy of Natural History		
<b>Mailing address</b>	105037, Moscow, p.o. box 47		
<b>Editorial and publisher address</b>	440026, Penza, st. Lermontov, 3		
<b>Printing</b>	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5		
<b>E-mail</b>	edition@rae.ru	<b>Telephone</b>	+7 (499) 705-72-30
<b>Signed for print</b>	29.11.2024	<b>Number issue date</b>	28.12.2024
<b>Format</b>	60x90 1/8	<b>Conditionally printed sheets</b>	31,5
<b>Circulation</b>	1000 copies	<b>Order</b>	CHT 2024/11

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

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ГАЗОФРАКЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ <i>Бронская В.В., Зиннурова О.В., Фирсин А.А., Шипин А.В.</i> .....	10
ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДИКТИВНОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ <i>Гончаров А.С.</i> .....	17
АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ ПОКРЫТИЯ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ <i>Довбыш Н.С., Жданов А.В., Новикова Е.А.</i> .....	26
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЕБ-ПОДДЕРЖКИ НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Игнатьев И.Н., Башарина О.Ю.</i> .....	33
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫСЕВА СЕМЯН РОТОРНО-ЛОПАСТНЫМ ДОЗАТОРОМ <i>Исаев Ю.М., Крючин Н.П., Семашкин Н.М., Крючин П.В.</i> .....	40
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЗОВОВ <i>Лубнина А.А., Шинкевич М.В.</i> .....	47
АЛГОРИТМ УЛУЧШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ <i>Макаров О.С., Щенникова Е.В.</i> .....	53
КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ИТ-ПРОЕКТОВ <i>Надеждин Е.Н., Тихонов М.А.</i> .....	61
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОКА ПОСЕТИТЕЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ <i>Наумова Н.А., Коваленко Ю.С.</i> .....	68
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АЭРОАКВАПОНИКИ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ <i>Нечипоренко А.Ю., Пиотровский Д.Л.</i> .....	75
ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ПО ФОРМУЛАМ ЛАГРАНЖА И КОШИ НА ОСНОВЕ УСТОЙЧИВОЙ АДРЕСНОЙ СОРТИРОВКИ <i>Ромм Я.Е., Тюшнякова И.А.</i> .....	80
РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАЦИИ МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ В ПРОЕКТАХ РАЗРАБОТКИ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ <i>Савина А.Г., Малявкина Л.И., Агейчев А.И.</i> .....	95

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО ПОТОКОВОГО ПРОЦЕССОРА <i>Страбыкин Д.А.</i> .....	109
О ДЕТЕКЦИИ БРАКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ООО «АЛАТОЙС») <i>Талалаев М.В.</i> .....	119
МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКАСКАДНОГО НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ МОДУЛЬНОГО ТРАЛОВОГО МЕХАНИЗМА <i>Черный С.П., Хрульков В.Н., Мокрицкий Б.Я.</i> .....	126
<b>Педагогические науки (5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.8.7)</b>	
<b>СТАТЬИ</b>	
ОЦЕНКА СФОРМИРОВАННОСТИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ У АСПИРАНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ КУРСА «ПЕДАГОГИКА И ПСИХОЛОГИЯ» <i>Алтатова А.И.</i> .....	133
МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАНИМАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ <i>Аргунова Н.В., Попова А.М.</i> .....	138
ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРЕПОДАВАНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ» В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ <i>Бедрина Е.А., Белоусова Ю.С., Янчий С.В.</i> .....	144
ВЛИЯНИЕ ЛОГОПЕДИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ЛИЦ С ПРОГРЕССИРУЮЩЕЙ МОЗЖЕЧКОВОЙ ДИЗАРТРИЕЙ <i>Бердникович Е.С.</i> .....	149
РЕЗИЛЬЕНТНОСТЬ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ КАК УСЛОВИЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ АСОЦИАЛЬНЫМ ПРОЯВЛЕНИЯМ <i>Бирюкова Ю.Н.</i> .....	157
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ В КУРСЕ ФИЗИЧЕСКОЙ И КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ <i>Герасимова И.В., Скворцова И.В.</i> .....	163
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ВУЗЕ <i>Забихуллин Ф.З.</i> .....	168
ВОПРОСЫ ПРЕЕМСТВЕННОСТИ СТАЦИОНАРНОГО И АМБУЛАТОРНОГО ЭТАПА РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ СТАРШЕГО ВОЗРАСТА С АФАЗИЕЙ <i>Королева Е.А.</i> .....	175
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АДАПТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ <i>Кочерьян М.А., Рыскин П.П., Шуралева Н.Н.</i> .....	180

ПРОФИЛАКТИКА РОДИТЕЛЬСКОГО ВЫГОРАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ СТУДЕНТОВ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВУЗА <i>Кудашкина О.В., Фадеева О.В., Чаткина С.Н.</i> .....	188
ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ МЕНЕДЖЕРОВ <i>Мельникова Е.В.</i> .....	193
ЭТНОПЕДАГОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ПАТРИОТИЧЕСКИХ ЦЕННОСТЕЙ СТУДЕНТОВ <i>Палаткина Г.В., Палаткин В.В., Глебова А.П.</i> .....	200
ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ): ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ <i>Парникова Т.А.</i> .....	206
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ РИСОВАНИЮ ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА ОБУЧАЮЩИХСЯ 8-9-ЛЕТНЕГО ВОЗРАСТА В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ШКОЛЕ <i>Полынская И.Н.</i> .....	211
ПРОБЛЕМА ВЗАИМОСВЯЗИ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН «ФИЗИКА» И «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА» ПРИ ОБУЧЕНИИ В ВУЗЕ <i>Ракин Г.В.</i> .....	218
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОГО ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ <i>Савельева Н.Н., Минин М.Г.</i> .....	225
СМЕШАННОЕ ОБУЧЕНИЕ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ И ЭМПИРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ SAVLS <i>Салехова Л.Л., Данилов А.В., Зарипова Р.Р., Фазлиахметов Т.Р.</i> .....	231
ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ ШКОЛЬНИКОВ В ОБЛАСТИ ГЕОГРАФИИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОПАРКА ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВУЗА <i>Суворова А.И., Павлова Н.В.</i> .....	237
<b>Физико-математические науки</b>	
<b>(2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика)</b>	
<b>СТАТЬЯ</b>	
АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ДИСКРЕТНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РАЗНЫМИ ТЕМПАМИ ДВИЖЕНИЙ <i>Аширбаев Б.Ы.</i> .....	242

## 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

DIGITAL MODELING OF GAS FRACTIONATION UNIT USING MACHINE LEARNING METHODS

*Bronskaya V.V., Zinnurova O.V., Firsin A.A., Shipin A.V.* ..... 10

APPROACH TO FORMATION OF INFORMATION SUPPORT FOR DECISION-MAKING PROCESS ON PREDICTIVE MAINTENANCE

*Goncharov A.S.* ..... 17

ANALYSIS OF THE GEOMETRY OF A COATING WITH A HIGH CONTENT OF TUNGSTEN CARBIDES OBTAINED BY LASER SURFACING

*Dovybsh N.S., Zhdanov A.V., Novikova E.A.* ..... 26

METHODS AND TOOLS FOR WEB SUPPORT OF SCIENTIFIC AND ORGANISATIONAL ACTIVITIES

*Ignatev I.N., Basharina O.Yu.* ..... 33

THEORETICAL STUDIES OF THE EFFECT OF LOADS ON AIRCRAFT DISC BRAKES

*Isaev Yu.M., Kryuchin N.P., Semashkin N.M., Kryuchin P.V.* ..... 40

FORECASTING DEVELOPMENT TRENDS OF HIGH-TECH INDUSTRIES IN THE CONTEXT OF MODERN CHALLENGES

*Lubnina A.A., Shinkevich M.V.* ..... 47

ALGORITHM FOR IMPROVING SPATIO-TEMPORAL MOTION DETECTION METHODS

*Makarov O.S., Shchennikova E.V.* ..... 53

THE CONCEPT OF AN INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF INNOVATIVE IT PROJECTS

*Nadezhdin E.N., Tikhonov M.A.* ..... 61

NUMERICAL METHODS FOR MODELING VISITOR FLOW DURING MASS EVENTS

*Naumova N.A., Kovalenko Yu.S.* ..... 68

MATHEMATICAL MODELING OF THE AEROAQUAPONICS PROCESS WITH DETERMINATION OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS

*Nechiporenko A.Yu., Piotrovskiy D.L.* ..... 75

ON THE IDENTIFICATION OF MEAN VALUES USING LAGRANGE'S AND CAUCHY'S FORMULAS BASED ON STABLE ADDRESS SORTING

*Romm Ya.E., Tyushnyakova I.A.* ..... 80

DEVELOPMENT OF A CONFIGURATION FOR MONITORING THE WORKING TIME OF TASKS IN SOFTWARE DEVELOPMENT AND MAINTENANCE PROJECTS

*Savina A.G., Malyavkina L.I., Ageychev A.I.* ..... 95

A FUNCTIONAL MODEL OF A TRAINING DATAFLOW PROCESSOR <i>Strabykin D.A.</i> .....	109
ABOUT THE DEFECT DETECTION AT A MANUFACTURING ENTERPRISE USING NEURAL NETWORKS (ON EXAMPLE OF ALATOYS LLC) <i>Talalaev M.V.</i> .....	119
SIMULATION OF A MULTISTAGE FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR STABILIZATION OF A MODULAR TRAWL MECHANISM <i>Chernyy S.P., Khrulkov V.N., Mokritskiy B.Ya.</i> .....	126

### **Pedagogical sciences (5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.8.7)**

#### **ARTICLES**

ASSESSMENT OF THE FORMATION OF UNIVERSAL COMPETENCES OF POSTGRADUATE STUDENTS OF MEDICAL SCHOOL IN THE PROCESS OF MASTERING THE COURSE “PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY” <i>Alpatova A.I.</i> .....	133
METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING ENTERTAINING TASKS IN MATHEMATICS LESSONS <i>Argunova N.V., Popova A.M.</i> .....	138
INNOVATIVE APPROACHES TO TEACHING THE DISCIPLINE “LIFE SAFETY” IN TECHNICAL UNIVERSITIES <i>Bedrina E.A., Belousova Yu.S., Yanchiy S.V.</i> .....	144
EFFECT OF SPEECH THERAPY REHABILITATION ON THE QUALITY OF LIFE OF INDIVIDUALS WITH PROGRESSIVE CEREBELLAR DYSARTHRIA <i>Berdnikovich E.S.</i> .....	149
LEARNER RESISTANCE AS A CONDITION FOR COUNTERACTING ASOCIAL MANIFESTATIONS <i>Biryukova Yu.N.</i> .....	157
USING A DIGITAL LABORATORY IN THE COURSE OF PHYSICAL AND COLLOIDAL CHEMISTRY <i>Gerasimova I.V., Skvortsova I.V.</i> .....	163
STUDY OF THE PRINCIPLES OF PEDAGOGICAL INTERACTION IN THE CONDITIONS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF PROFESSIONAL ENGINEERING EDUCATION IN THE UNIVERSITY <i>Zabikhullin F.Z.</i> .....	168
ISSUES OF CONTINUITY OF INPATIENT AND OUTPATIENT REHABILITATION OF OLDER PATIENTS WITH APHASIA <i>Koroleva E.A.</i> .....	175
THE STUDY OF THE PECULIARITIES OF FOREIGN STUDENTS ADAPTATION <i>Kocheryan M.A., Ryskin P.P., Shuraleva N.N.</i> .....	180



PREVENTION OF PARENTAL BURNOUT AND PRESERVATION OF PSYCHOLOGICAL WELL-BEING OF STUDENTS OF PEDAGOGICAL UNIVERSITY <i>Kudashkina O.V., Fadeeva O.V., Chatkina S.N.</i> .....	188
ORGANIZATIONAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF PROJECT ACTIVITIES IN THE FORMATION OF PROFESSIONALLY SIGNIFICANT COMPETENCIES OF FUTURE MANAGERS <i>Melnikova E.V.</i> .....	193
ETHNOPEDAGOGICAL MEANS OF FORMING PATRIOTIC VALUES OF STUDENTS <i>Palatkina G.V., Palatkin V.V., Glebova A.P.</i> .....	200
CHARACTERISTICS OF THE STUDENTS OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA): EDUCATIONAL ASPECT <i>Parnikova T.A.</i> .....	206
STUDY OF THE METHODOLOGY OF TEACHING DRAWING OF THE HUMAN FIGURE TO 8–9-YEAR-OLD STUDENTS IN AN ART SCHOOL <i>Polynskaya I.N.</i> .....	211
THE PROBLEM OF THE INTERRELATION BETWEEN THE ACADEMIC DISCIPLINES “PHYSICS” AND “HIGHER MATHEMATICS” IN STUDIES AT A HIGHER EDUCATION INSTITUTION <i>Rakin G.V.</i> .....	218
EFFICIENCY OF USING HYBRID TECHNOLOGY IN A TECHNICAL UNIVERSITY <i>Savelieva N.N., Minin M.G.</i> .....	225
BLENDED LEARNING: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THEORETICAL APPROACHES AND EMPIRICAL STUDIES BASED ON CABLS <i>Salekhova L.L., Danilov A.V., Zaripova R.R., Fazliakhmetov T.R.</i> .....	231
PRACTICAL-ORIENTED TRAINING OF SCHOOLCHILDREN IN THE FIELD OF GEOGRAPHY IN THE CONDITIONS OF THE TECHNOPARK OF PEDAGOGICAL COMPETENCIES OF THE UNIVERSITY <i>Suvorova A.I., Pavlova N.V.</i> .....	237

### **Physical and Mathematical Sciences**

#### **(2.3.1 Systems Analysis, Management and Information Processing, Statistics)**

#### **ARTICLE**

ANALYTICAL DESIGN OF A LINEAR CONTROLLER FOR A DISCRETE STOCHASTIC SYSTEM WITH DIFFERENT RATES OF MOVEMENT <i>Ashirbaev B.Y.</i> .....	242
--	-----

## СТАТЬИ

УДК 004.94:66

DOI

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ  
ГАЗОФРАКЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ****Бронская В.В., Зиннурова О.В., Фирсин А.А., Шипин А.В.***ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
Казань, e-mail: t.shipin@mail.ru*

Цель исследования – совершенствование процессов переработки углеводородного и химического сырья при изменении параметров технологического режима или компонентного состава сырья. В рамках исследования выполнено моделирование газофракционирующей установки действующего производства с использованием универсальной моделирующей программы Aspen Hysys V12. Для достижения поставленной цели на основе результатов моделирования была разработана модель машинного обучения в облачной среде программирования Google Colaboratory на языке программирования Python с использованием встроенных программных библиотек Pandas и Sklearn для машинного обучения и анализа данных. Модель предсказывает изменение доли выхода целевого продукта в зависимости от изменения рабочих параметров блока абсорбции, а именно расхода абсорбента и компонентного состава сырья. Полученный результат позволяет повысить эффективность процесса абсорбции на газофракционирующих установках. Процесс предсказания модели основан на методе линейной регрессии. Точность прогнозирования модели машинного обучения составила 99,4%. Полученная модель является универсальным инструментом контроля с целью увеличения выхода целевого продукта на газофракционирующих установках, что делает ее полезной как с технической, так и с экономической точек зрения.

**Ключевые слова:** газофракционирующая установка, технологическое моделирование, модель машинного обучения, абсорбция, цифровой двойник

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от 29.12.2022 г. № 075-01508-23-00. Тема исследования «Сверхкритические флюидные технологии в переработке полимеров».*

**DIGITAL MODELING OF GAS FRACTIONATION  
UNIT USING MACHINE LEARNING METHODS****Bronskaya V.V., Zinnurova O.V., Firsin A.A., Shipin A.V.***Kazan National Research Technological University, Kazan, e-mail: t.shipin@mail.ru*

The aim of the work is to improve the processing of hydrocarbon and chemical feedstock when changing the parameters of the technological mode or the component composition of the feedstock. Within the framework of the research the modeling of gas fractionation unit of the operating production was performed using the universal modeling program Aspen Hysys V12. To achieve the set goal, based on the results of modeling, a machine learning model was developed in the cloud programming environment Google Colaboratory in the Python programming language with the use of built-in software libraries Pandas and Sklearn for machine learning and data analysis. The model predicts the change in the yield fraction of the target product depending on changes in the operating parameters of the absorption unit, namely the absorbent flow rate and the component composition of the feedstock. The result obtained allows to increase the efficiency of the absorption process in gas fractionation units. The model prediction process is based on the linear regression method. The prediction accuracy of the machine learning model was 99.4%. The obtained model is a universal control tool to increase the yield of the target product at gas fractionation plants, which makes it useful from both technical and economic points of view.

**Keywords:** gas fractionation plant, process simulation, machine learning model, absorption, digital twin

*The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment for the provision of public services (performance of works) dated 12/29/2022, No. 075-01508-23-00. Research topic "Supercritical fluid technologies in polymer processing".*

**Введение**

В настоящее время развитие нефтехимической отрасли невозможно представить без газофракционирующих установок, которые входят в состав газоперерабатывающих, нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических заводов. Данные установки позволяют разделять сырую

нефть и газ на различные углеводородные фракции, которые в дальнейшем становятся сырьем для производства различных нефтехимических продуктов. Разделение сырья на отдельные фракции позволяет не только эффективно управлять производственными процессами, улучшая качество конечного продукта и снижая затраты на переработку,

но и повышать степень извлечения ценных компонентов из сырья, что способствует увеличению прибыли предприятия.

Для разделения смеси на индивидуальные компоненты, с последующим выделением товарных продуктов, на газофракционирующей установке применяются такие методы, как ректификация, абсорбция, конденсация и адсорбция. Состав газофракционирующей установки обычно включает в себя блок очистки газов, блок ректификации и абсорбции, блок охлаждения и компрессии.

В ходе моделирования технологических процессов установки газофракционирования возможно решение проблем действующих производств, увеличение выхода продуктов и совершенствование технологических процессов установки. Данные результаты достигаются с помощью разработки оптимизационных сценариев, расчетов эффективности оборудования при изменении технологических параметров и компонентного состава сырья [1–3].

В качестве среды для моделирования химико-технологических процессов используются различные симуляторы, которые способны отражать работу реальных установок в виде математического описания протекающих процессов. Самыми популярными моделирующим программными обеспечениями, используемыми в нефте-газохимической отрасли, являются Aspen Hysys, Petro-SIM, GIBBS, «Аэросим» и др. [4–6]. Такой подход обеспечивает возможность изучать моделируемый объект, проводить различные исследования, проведение которых в реальных условиях было бы затруднительно или по ряду причин небезопасно.

Также в качестве инструмента для математического описания химико-технологических процессов используются методы модели машинного обучения [7–9]. Модель машинного обучения – это математический алгоритм или статистическая модель, которая используется для выявления закономерностей и принятия решений в процессе обучения на основе входных данных. Таким образом в результате работы модели машинного обучения возможно получение выходных данных без проведения технологических расчетов, а основываясь только на полученных коэффициентах, вычисленных в ходе обучения модели.

Новым актуальным подходом в моделировании химико-технологических процессов является комплексное использование методов, рассмотренных ранее [10–12]. Первым этапом такого способа является расчет процесса в моделирующей среде, а полученные данные далее используются для разработки модели машинного об-

учения. Такой подход обеспечивает более точный и подробный анализ химико-технологического процесса без значительных временных затрат.

**Цель исследования** – совершенствование процессов переработки углеводородного и химического сырья при изменении параметров технологического режима или компонентного состава сырья.

### **Материалы и методы исследования**

Для моделирования химико-технологических систем применяется универсальная моделирующая программа Aspen Hysys V12, которая является одним из популярных симуляторов для моделирования процессов благодаря своей высокой точности, обширной базе данных, которая включает в себя основные модули химико-технологических процессов, интеграции с другими продуктами AspenTech и интуитивно понятному интерфейсу. Программа также обладает высокой производительностью и масштабируемостью, что позволяет использовать его как для небольших задач, так и для крупных проектов с высокими требованиями к вычислительным ресурсам.

Процесс расчета можно разделить на несколько этапов:

1) анализ исследуемого процесса и последующее его разделение на последовательные подпроцессы, связанные друг с другом материальными и энергетическими потоками;

2) установка модулей, описывающих подпроцессы из базы универсальной моделирующей программы, подключение установленных модулей с материальными и энергетическими потоками, определение спецификаций модулей для обеспечения сводимости;

3) расчет установки, в ходе которого был получен материальный и тепловой баланс;

4) проверка адекватности, в ходе которой сравниваются полученные в ходе расчетов и рабочие результаты установок.

Модель машинного обучения разрабатывалась в облачном сервисе Google Colaboratory (Google Colab) на основе Jupyter Notebook. Этот облачный сервис позволяет работать на языке Python с большими объемами данных (Big Data) без необходимости установки дополнительного программного обеспечения. Благодаря встроенным библиотекам, таким как Sklearn, TensorFlow и PyTorch, Google Colab является удобным и эффективным инструментом для разработки и тестирования моделей машинного обучения. Сервис предоставляет бесплатный доступ к мощным графическим процессорам (GPU) и тензорным процессорам (TPU), что значительно ускоряет процесс обучения сложных моделей.

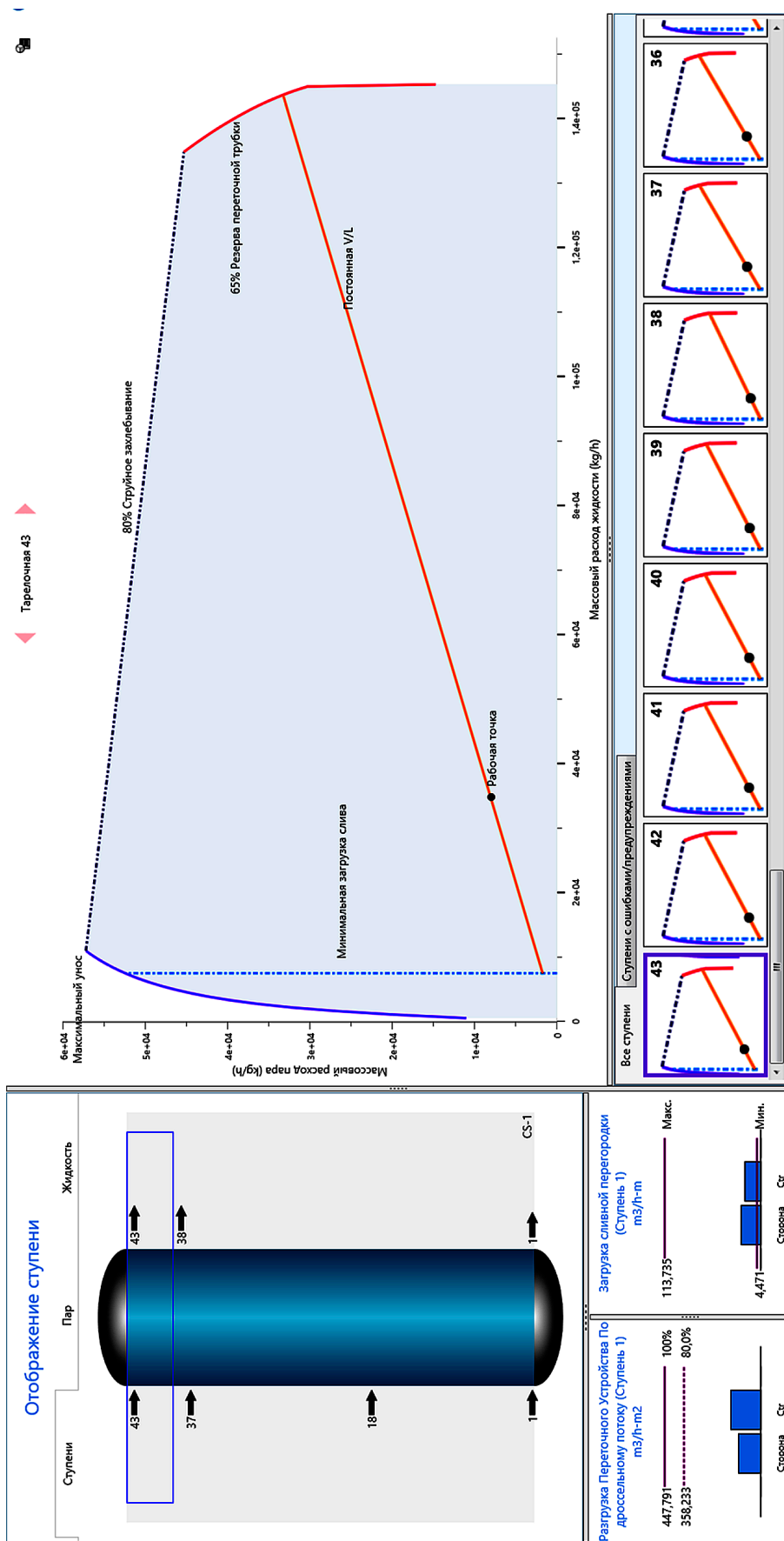


Рис. 1. Гидравлическая диаграмма колонны

### Результаты исследования и их обсуждение

Газофракционирующая установка включает в себя 5 блоков, а именно: абсорбции пирогаза, выделения этан-этиленовой фракции, очистки газа, деметанизации этан-этиленовой фракции и выделения этилена.

Для обеспечения сходимости расчетов требуется специфицировать технологические параметры работы оборудования. Для колонного оборудования необходимо задаться температурными профилями колонны, то есть температурой низа и верха колонны или отдельных ее секций, что позволит регулировать переход целевого компонента из одного агрегатного состояния в другое. Согласно уравнению Клапейрона – Клаузиуса при изменении давления системы температура кипения компонента смещается в ту же сторону, следовательно, давление внутри колонного оборудования используется в качестве спецификации в ходе расчетов такими параметрами, как давление верха и низа колонны.

В ходе моделирования колонного оборудования был проведен гидравлический расчет. Для этого были заданы такие геометрические параметры, как диаметр колонного оборудования, тип контактных устройств и расстояние между ними, диаметр колпачков и высота их юбки, количество ходов

по тарелке, количество колпачков на тарелке и толщину тарелки. В качестве проектных параметров задаются такие параметры, как процент затопления тарелки, минимальная площадь сливного устройства к общей площади тарелки, максимальный процент струйного затопления, максимальный процент затопления переливного устройства, коэффициент вспенивания жидкости, коэффициент аэрации, фактор избыточной концентрации. В процессе гидравлического анализа исследуемой абсорбционно-отпарной колонны газофракционирующей установки была выявлена возможность увеличения производительности колонного оборудования на 20% с учетом нормальной работы контактных устройств. Гидравлическая диаграмма исследуемой колонны на рис. 1.

Для расчета реактора гидрирования ацетилена требуется задаться сведениями о стехиометрии, указать компоненты и протекающие в реакторе реакции, перепад давления и геометрические параметры. Расчет реактора приведен на рис. 2.

Расчет теплообменного оборудования сводится к определению параметров температур, давлений и расходов входных и выходных материальных потоков, а также определения геометрии и типа «ТЕМА» оборудования. Расчет теплообменного оборудования в среде Aspen Hysys приведен на рис. 3.

Конверсионный реактор: CRV-100 - Set-1

Проект Реакции Номинал Таблица Динамика

Реакции

Подр. свед. Результаты

Подобные сведения о реакции преобразования

Набор реакций Set-1 Реакция Rxn-1

Стехиометрия  Базис  Преобраз, %

Сведения о стехиометрии

Компонент	Молярный вес	Стех. коэф.
Hydrogen	2,016	-1,000
Ethylene	28,054	1,000
Acetylene	26,038	-1,000
**Доб. комп.**		

Ошибка баланса 0,00000

Теп. реак.(25 °C) -1,7e+05 kJ/kgmole

Игнор.

Рис. 2. Расчет реактора гидрирования ацетилена

Имя	Пирогаз	Пирогаз охл.	Пропилен	Пропилен-1
Пар	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Температура [C]	-10,00	-15,00	-30,00	-24,76
Давление [кПа]	3420	3370	2000	1950
Мольный расход [kgmole/h]	602,9	602,9	285,2	285,2
Масс. расход [kg/h]	1,250e+004	1,250e+004	1,200e+004	1,200e+004
Станд. объем. расх. ид. жидк. [м3/h]	36,61	36,61	23,03	23,03
Молярная энтальпия [kJ/kgmole]	-2,501e+004	-2,523e+004	-758,7	-287,5
Молярная энтропия [kJ/kgmole-C]	143,7	143,0	-2,087	-0,1563
Тепловой поток [kJ/h]	-1,508e+007	-1,521e+007	-2,164e+005	-8,199e+004

Рис. 3. Расчет теплообменного оборудования

Полученная в ходе расчетов схема цифровой модели установки газодифракционного представления представлена на рис. 4 и 5.

Благодаря результатам, полученным в ходе моделирования установки в среде Aspen Hysys, была разработана модель машинного обучения, способная предсказывать массовую долю этилена в составе насыщенного абсорбента при изменении технологических параметров абсорбционно-отпарной колонны и компонентного состава сырья. База данных, используемая для обучения и тестирования модели, была составлена из экспериментальных данных, полученных в ходе расчетов установки в среде Aspen Hysys, а также производственных данных, полученных с действующего предприятия. Таким образом, входными параметрами модели являются массовые расходы сырья и абсорбента, компонентный состав сырья. В качестве выходных параметров представляется массовая доля этилена в составе насыщенного абсорбента, а также его массовый расход.

Работу модели машинного обучения можно разделить на 6 этапов: структуризация входных данных; обучение модели; проведение тестирования; вычисление ошибки; ввод новой обстановки; проведение предсказания для новой обстановки.

Этап структуризации данных включает использование библиотек Pandas и scikitlearn. Библиотека Pandas, предназначенная для обработки и анализа входных данных, преобразует полученные данные из среды Aspen Hysys в структурированный массив данных. Библиотека scikitlearn, содержащая функции и алгоритмы машинного обучения, разбивки данных на группы и прогнозирования, разбивает полученный массив данных с собранными рабочими параметрами абсорбционно-отпарной колонны на входные и выходные данные «X»

и «Y». Вводятся переменные тестирования и тренировки  $x_{test}, y_{test}$  и  $x_{train}, y_{train}$ , объем которых определяется функцией  $train\_test\_split$ , которая разбивает тестовые и тренировочные данные на 20 и 80% соответственно, а также псевдорандомизирует последовательность строк на данное отношение.

Полученные предсказания и процесс обучения модели основываются на использовании метода линейной регрессии, уравнение которой представлено в формуле

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $y$  – зависимая переменная, включающая в себя выходные данные массовой доли этилена в насыщенном абсорбенте и его расход,

$\beta_0$  – константа, определяющая смещение линии регрессии вдоль оси  $y$ , то есть начальное значение в случае, когда все независимые переменные равны нулю. В данном случае константа равна нулю,

$x_1 \dots x_n$  – независимые переменные, включающие в себя входные данные,

$\beta_1 \dots \beta_n$  – коэффициенты при независимых переменных, определяющиеся по сумме квадратов разности фактических и предсказанных значениях. В начале обучения задаются случайным образом для предсказания и последующего обновления,

$\varepsilon$  – ошибка модели, равная разнице между фактическими и предсказанными значениями выходных данных.

Для анализа обученной модели вызывается модуль `scikitlearn.metrics`, включающий в себя метрику оценки производительности. Таким образом, погрешность модели можно вычислить с помощью метода средней абсолютной ошибки. В качестве фактических и предсказанных значений используются параметры расхода насыщенного абсорбента и доли целевого компонента в составе насыщенного абсорбента.

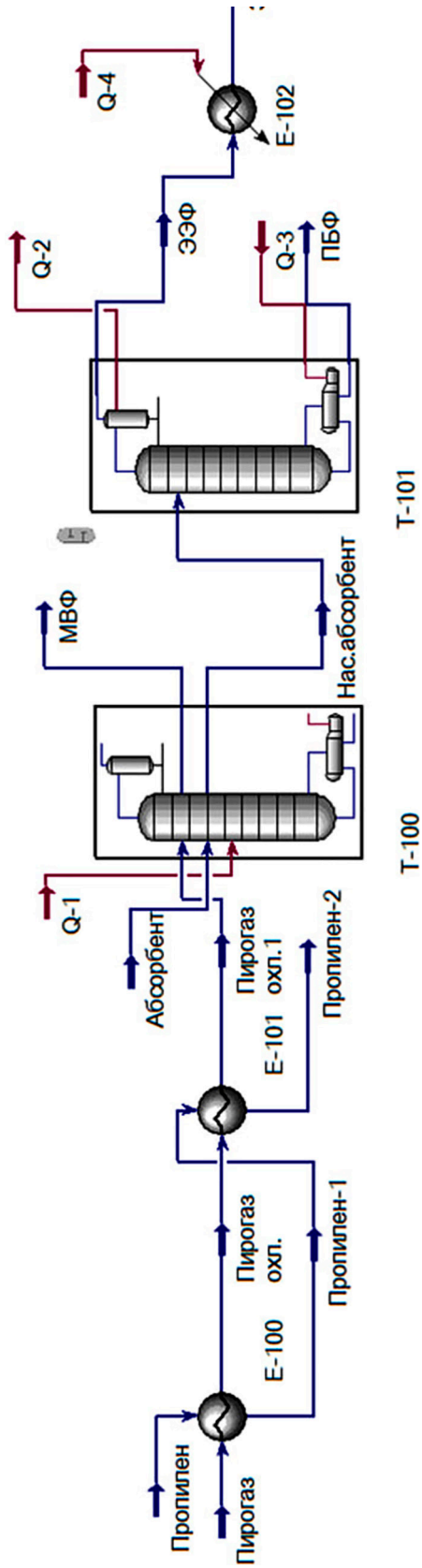


Рис. 4. Расчетная схема процесса в пакете Aspen Hysys, лист 1

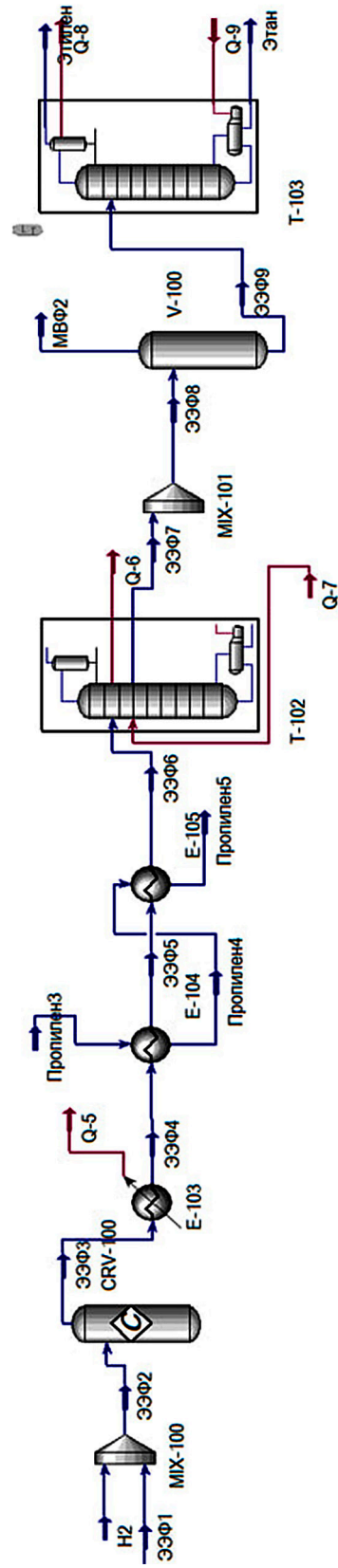


Рис. 5. Расчетная схема процесса в пакете Aspen Hysys, лист 2

## Результаты предсказания для новой обстановки

Предсказанные значения		
Доля этилена в насыщенном абсорбенте, % мас.	Расход насыщенного абсорбента, кг/ч	Расход этилена в насыщенном абсорбенте, кг/ч
0,1482	34530	5117
Актуальные значения		
Доля этилена в насыщенном абсорбенте, % мас.	Расход насыщенного абсорбента, кг/ч	Расход этилена в насыщенном абсорбенте, кг/ч
0,1486	34230	5085

Уравнение средней абсолютной ошибки представлено в формуле

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{\phi} - y_{\pi}|}{n}, \quad (2)$$

где  $y_{\phi}$  – фактическое значение переменной,  $y_{\pi}$  – предсказанное значение переменной,  $n$  – количество переменных.

Для предсказания новых рабочих параметров абсорбционно-отпарной колонны предусматривается создание нового наблюдения. На основе обученной модели производится предсказание выходных данных, которые после выводятся. Для удобства использования модели производится расчет этилена в насыщенном абсорбенте в килограммах в час. Результаты предсказания для новой обстановки представлены в виде таблицы, где предсказанные значения – значения, полученные в ходе работы обученной модели, актуальные значения – экспериментальные значения, полученные в результате моделирования установки в среде Aspen Hysys V12.

### Заключение

В результате технологического моделирования построена цифровая модель установки газофракционирования в пакете Aspen Hysys V12. В ходе анализа результатов работы модели проведено исследование, включающее регулирование расхода абсорбента на абсорбционно-отпарную колонну с учетом изменения компонентного состава сырья. Более точное определение уставки расхода абсорбента позволило улавливать целевой компонент смеси в абсорбтиве, а также влиять на температурные профили оборудования.

Результаты цифровой модели установки были использованы для разработки модели машинного обучения блока абсорбции, которая способна предсказывать массовую долю этилена в составе насыщенного абсорбента, а также расход насыщенного абсорбента с точностью 99,4%. Полученные результаты могут быть использованы

для повышения эффективности процесса абсорбции на газофракционирующих установках предприятий.

### Список литературы

1. Bakhtadze N.N., Lototsky V.A. Knowledge-based models of nonlinear systems based on inductive learning // Intelligent Systems Reference Library. 2016. Vol. 98. P. 85–104.
2. Tun M.S., Lakshminarayanan S., Emoto G. Data Selection and Regression Method and Its Application to Softensing Using Multirate Industrial Data // Journal of Chemical Engineering of Japan. 2008. Vol. 41, Is. 5. P. 374–383.
3. Клилин Г.А., Кавалеров Б.В., Бахирев И.В. Получение нелинейной модели ГТУ на основе нейронной сети // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике. 2015. Т. 1. С. 72–77.
4. Веревкин А.П., Слетнев М.С. Усовершенствованное управление (APC) нефтехимическим производством на основе многоуровневой нейросетевой системы поддержки принятия решений // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10, № 2. С. 61–64.
5. Шаймухаметов Д.Р., Мустафина С.А., Шаймухаметова Д.В. Прямое моделирование процесса дегидрирования метилбутенов в изопрен на основе искусственных нейронных сетей // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20, № 24. С. 123–126.
6. Артюшкин И.В., Максимов А.Е. Разработка автоматической системы управления процессом термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий на основе искусственной нейронной сети // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2017. № 1 (53). С. 7–15.
7. Zahedi G., Lohi A., Karami Z. A Neural Network Approach for Identification and Modeling of Delayed Coking Plant // International Journal of Chemical Reactor Engineering. 2009. Vol. 7, Is. 1. DOI: 10.2202/1542-6580.1832.
8. Chen X., Wang N. Modeling a Delayed Coking Process with GRNN and Double-Chain Based DNA Genetic Algorithm // International Journal of Chemical Reactor Engineering. 2010. Vol. 8, Is. 1. DOI: 10.2202/1542-6580.2192.
9. Деникеева А.У. Моделирование процесса получения газойля при помощи искусственной нейронной сети // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2016. № 26–1. С. 219–223.
10. Мухаметзянова А.Г., Бронская В.В., Харитонов О.С. Нейросетевое моделирование гидродинамики потока в колонных аппаратах с насадочными элементами // Вестник Технологического университета. 2021. Т. 24, № 12. С. 139–141.
11. Frolov I.N., Firsin A.A., Okhotnikova E.S., Yusupova T.N., Ziganshin M.A. The study of bitumen by differential scanning calorimetry: the interpretation of thermal effects // Petroleum Science and Technology. 2019. Т. 37, № 4. P. 417–424.
12. Харитонов О.С., Бронская В.В., Зиннурова О.В., Фирсин А.А. Моделирование установки замедленного коксования в программе MATLAB // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2024. № 2. С. 29–37.



УДК 004.852  
DOI

## ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДИКТИВНОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ

Гончаров А.С.

*ФГАОУ ВО «Томский политехнический университет», Томск, e-mail: asg19@tpu.ru*

Целью настоящей работы является исследование подхода к формированию информационного обеспечения по управлению моделями интеллектуального анализа данных для предиктивного технического обслуживания промышленных роботов. Данный подход включает в себя методы детектирования аномальных значений и методы прогнозирования целевого параметра. Для формирования информационного обеспечения использованы методы оценки меры сходства исторических данных о производственном процессе и методы оценки точности моделей анализа данных на базе конвейера обработки данных. Для оценки внедрения данного подхода была разработана имитационная модель, демонстрирующая повышение экономической эффективности информационного обеспечения процесса принятия решений на основе данных за счет сокращения расходов на процесс конструирования моделей анализа данных при наличии массива ранее обученных моделей. Результаты моделирования продемонстрировали увеличение эффективности технического обслуживания на основе данных за счет сокращения временных ресурсов на конструирование новых моделей анализа данных. Расчет имитационной модели проводился на наборах данных, отражающих время на обучение и тестирование пяти моделей анализа данных, а также время прогнозирования значений целевого параметра выборки (на примере решения задачи прогнозирования температуры электропривода промышленного робота).

**Ключевые слова:** автоматизация, анализ данных, машинное обучение, промышленный робот

## APPROACH TO FORMATION OF INFORMATION SUPPORT FOR DECISION-MAKING PROCESS ON PREDICTIVE MAINTENANCE

Goncharov A.S.

*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: asg19@tpu.ru*

The purpose of this work is to investigate an approach to the formation of information support for managing data mining models for predictive maintenance of industrial robots. This approach includes methods for detecting abnormal values and methods for predicting the target parameter. To form information support, methods for evaluating the similarity of historical data on the production process and methods for evaluating the accuracy of data analysis models based on the data processing pipeline were used. To assess the implementation of this approach, a simulation model was developed that demonstrates an increase in the economic efficiency of information support for the data-based decision-making process by reducing the cost of constructing data analysis models in the presence of an array of previously trained models. The simulation results demonstrated an increase in data-based maintenance efficiency by reducing time resources for constructing new data analysis models. The simulation model was calculated on data sets reflecting the time for training and testing of five data analysis models, as well as the time for predicting the values of the target sample parameter (using the example of solving the problem of predicting the temperature of an electric drive of an industrial robot).

**Keywords:** automation, data analysis, machine learning, industrial robot

### Введение

Подход предиктивного технического обслуживания и ремонта (ТОиР) использует данные и аналитические методы для прогнозирования работоспособности, отказов оборудования и планирования профилактических работ. Данные, необходимые для ТОиР, непрерывно поступают из различных источников, включая датчики, системы управления и мониторинга, базы данных и журналы событий, отчеты и т.д. Управление значительными по объему разнородными данными и моделями машинного обучения для анализа этих данных является ключевым фактором для успешного внедрения предиктивного ТОиР.

Актуальность данной темы обусловлена возрастающей потребностью в автоматизации и оптимизации технического обслуживания производственного оборудования. Разработка методов управления разнородными данными позволяет получить наиболее полную картину состояния производственного оборудования, учитывая факторы, которые традиционные методы анализа не могли бы учесть [1]. Применение машинного обучения к накопленным наборам данных позволяет создавать точные модели, эффективно предсказывающие отказы оборудования, и, что особенно важно, минимизировать количество ложных срабатываний. Корректно обработанные, проанализи-

зированные и представленные в удобном для понимания виде данные повышают эффективность технического обслуживания, что влечет сокращение затрат на избыточно запланированные работы [2].

**Целью данной работы** является исследование подхода к формированию информационного обеспечения по управлению моделями интеллектуального анализа данных для предиктивного обслуживания, включающего в себя использование методов оценки меры сходства исторических данных о производственном процессе и методов оценки точности выбранных для анализа моделей с целью повышения эффективности принятия управленческих решений технического обслуживания промышленного оборудования (на примере промышленных роботов) на основе анализа обобщенных показателей его работы.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи.

1. Анализ методов обнаружения аномалий и применение к собранным данным (на примере задачи классификации нагрузок на ось промышленного манипулятора).

2. Анализ подходов управления моделями анализа данных и апробация алгоритма подбора модели на собранных данных (на примере задачи прогнозирования температуры электропривода промышленных манипуляторов).

3. Разработка имитационной модели для оценки экономической эффективности информационного обеспечения процесса принятия решений на основе данных.

### **Материалы и методы исследования**

Для решения поставленных задач использованы следующие методы:

1) методы детектирования аномальных значений (Наивный Байес, Дерево решений, Метод опорных векторов) для задачи № 1;

2) методы прогнозирования целевого параметра (регрессия, рекуррентная нейронная сеть) и оценки точности прогнозных значений для задачи № 2;

3) методы имитационного моделирования с использованием программного пакета Arena Simulation для задачи № 3.

Процесс создания информационного обеспечения для ТОиР на основе данных в рамках предиктивной аналитики включает в себя следующие основные шаги:

1) сбор данных – агрегирование данных с разных источников: датчиков, контроллеров, журналов событий, систем мониторинга, расписания и регламентов ТОиР;

2) конструирование моделей анализа данных – создание и обучение моделей для решения задач прогнозирования рабо-

тоспособности, остаточного срока службы или раннего отказа оборудования;

3) анализ данных – нахождение и валидация решения с использованием модели анализа данных;

4) разработка альтернатив стратегий ТОиР – оценка целесообразности внедрения плана ТОиР на основе анализа данных в рамках имеющихся ресурсов;

5) оценка рисков – реализация комплексных мер для оценки основных областей риска на основе выявленной проблемы, ранжирование рисков и разработка вариантов работы с рисками;

6) оценка экономической эффективности – выявление проблем на ранней стадии для предотвращения отказов и связанных с ними расходов;

7) назначение процедур ТОиР – оптимизация расписания технического обслуживания и разработка наиболее эффективных стратегий обслуживания на основе данных, параметров работы оборудования и его состояния.

Для автоматизации процесса управлением техническим обслуживанием на основе данных используются подходы с применением методов управления моделями анализа данных, в том числе: оркестрация, цифровой двойник. В рамках настоящей работы предложен подход к формированию информационного обеспечения для процесса принятия решений ТОиР с использованием методов анализа данных и оркестрации моделей машинного обучения, обеспечивающий информационную поддержку, модульность и масштабируемость на всех этапах процесса управления техническим обслуживанием промышленных роботов (рис. 1).

Предложенный подход к автоматизации процесса управлением техническим обслуживанием на базе конвейера обработки данных и конструирования моделей анализа данных содержит следующие компоненты.

1. Инициация процесса управления моделями анализа данных – компонент выполняет следующий набор функций: анализ бизнес-проблемы, постановка целей и формализация критериев достижения, выделение конкретного подхода машинного обучения и определение необходимых данных для решения проблемы.

2. Конвейер атрибутов данных – компонент выполняет следующий набор функций: сбор данных, определение правил для преобразования и очистки данных, определение правил выделения атрибутов, преобразование и очистка данных, выявление аномальных значений.



Рис. 1. Процесс автоматизации подготовки данных и построения моделей машинного обучения

3. Генерация модели машинного обучения – компонент выполняет следующий набор функций: предварительный анализ данных, подготовка и валидация данных, выбор алгоритма, обучение и тестирование модели с оптимизацией гиперпараметров, экспорт модели.

4. Оркестровка и планирование – компонент выполняет следующий набор функций: планирование задач, оркестровка рабочего процесса, обработка метаданных модели.

5. Подбор модели – компонент выполняет следующий набор функций: оценка сходства датасетов, выбор и оценка модели.

6. Автоматизированный конвейер рабочего процесса машинного обучения – компонент выполняет следующий набор функций: извлечение и подготовка данных, выбор алгоритма, обучение модели, тестирование и экспорт модели.

7. Обслуживание модели – компонент выполняет следующий набор функций: выполнение оценки на основе новых пакетных или потоковых данных, настройка и дообучение модели.

8. Подсистема мониторинга конвейеров – основная функция компонента: непрерывный мониторинг производительности обслуживания модели анализа данных.

9. CI/CD – основная функция компонента: непрерывная интеграция, доставка и развертывание экспортированной модели.

В настоящей работе проведена апробация комплекса алгоритмов по выявлению аномальных значений (для компонента конвейера атрибутов данных) и подбору и оценке модели анализа данных (для компонента подбора модели). Аномальные значения при анализе больших данных представляют собой отклонения от общего тренда или нормы в наборе данных. Они могут быть вызваны ошибками в сборе данных, случайными факторами или наличием некорректных значений [3]. Для обнаружения аномалий используются статистические методы, машинное обучение или визуализация данных [4, 5].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Для апробации алгоритмов выявления аномальных значений был проведен сбор

данных с промышленного манипулятора при выполнении рабочей операции по перемещению палет с различной категорией весовой нагрузки. На собранных данных рассмотрена задача классификации весовой нагрузки на промышленном манипуляторе с целью обнаружения аномальных значений. Под аномальными значениями понимаются отклонения анализируемых параметров (таких как: момент силы, ток, температура привода) за пределы референтных значений (определенных при наладке рабочей программы манипулятора) и результатов классификации, которые определяют корректность весовой нагрузки на осях манипулятора [6]. Для определения референтных значений был использован подход по определению крайних значений относительно номера операции [7]. Рабочая программа состоит из перечня команд, которые выполняются последовательно. Классификация нагрузки проводится на основе анализа параметра тока в процессе работы электроприводов манипулятора.

Параметры датасета:

1. Размер выборки – 53910 строк.
2. Дискретность данных – 0,2 секунды.
3. Атрибуты выборки – угловая скорость, значение тока, температура, момент силы электродвигателей, положение осей манипулятора.
4. Категория нагрузки: 1 – корректная весовая нагрузка, 0 – некорректная весовая нагрузка.
5. Процесс сбора данных – перемещение палеты с различной нагрузкой промышленным манипулятором KUKA 40 PA в течение 320 минут.

Для классификации категории нагрузки на ось манипулятора были использованы методы: Наивный Байес, дерево решений, метод опорных векторов, линейная модель. Было построено несколько базовых моделей классификации, которые обучались на основе предоставленных данных (табл. 1). Использованы модели с бинарной классификацией – метрика точности показывает

процент правильно классифицируемой категории весовой нагрузки.

Обученные модели показали относительно хорошие результаты для решения задачи классификации нагрузки на промышленном манипуляторе. Была достигнута высокая точность классификации (до 93%), что позволяет сделать вывод о способности модели правильно определять нагрузку на основе агрегированных параметров манипулятора. Обученные модели могут быть применены для определения оптимальной нагрузки для каждого промышленного манипулятора или для обнаружения проблем в процессе выполнения рабочей программы, что классифицируется как аномальное значение.

На примере собранных данных с четырех разных промышленных роботов была рассмотрена задача по управлению моделями анализа данных, в частности подбора обученных моделей для анализа тестовых датасетов, имеющих наибольшее сходство с обучающей выборкой. Конструирование и обучение моделей производились с целью прогнозирования температуры электропривода на оси промышленного робота.

Параметры датасетов:

1. Размер выборки – 279570 строк.
2. Дискретность данных – 1 секунда.
3. Атрибуты выборки – угловая скорость, значение тока, температура, момент силы электродвигателей.
4. Процесс сбора данных – перемещение пластиковых кубов внутри роботизированной ячейки (Робот 1), фрезерование фигурного изделия из дерева (Робот 2), перемещение коробок с конвейера на палету (Робот 3), сварочные работы (Робот 4).

Сходство датасетов оценивалось методом косинусного расстояния [8]. Метод оценивает сходство в интервале [0; 1] (то есть, чем ближе значение к единице, тем более схожи сравниваемые наборы данных). Оценка сходства датасетов используется для трансферного обучения, доменной адаптации, оценки обобщающей способности модели, поиска паттернов во временных рядах [9].

Таблица 1

Результаты тестирования моделей для задачи классификации нагрузки на осях промышленного манипулятора

Модель	Выборка 1 точность, %	Выборка 2 точность, %	Выборка 3 точность, %
Наивный Байес	87	85	91
Дерево решений	74	36	73
Метод опорных векторов	89	84	93
Линейная модель	81	75	77

Таблица 2

## Коэффициенты сходства данных

Оценка сходства датасетов				
Выборка	Робот 1	Робот 2	Робот 3	Робот 4
Робот 1	1	0,89	0,87	0,90
Робот 2	0,89	1	0,89	0,91
Робот 3	0,87	0,89	1	0,90
Робот 4	0,90	0,91	0,90	1

Таблица 3

## Результаты тестирования моделей для задачи прогнозирования температуры привода

Обучающая	Робот 1		Робот 2		Робот 3		Робот 4	
	t, сек	p, %	t, сек	p, %	t, сек	p, %	t, сек	p, %
Линейная модель (Linear)								
Робот 1	8,67	70,83	2,01	47,79	2,17	51,87	2,03	59,37
Робот 2	2,01	44,79	16,43	51,04	2,57	44,79	2,12	43,75
Робот 3	1,99	51,87	2,00	30,20	14,25	78,12	2,29	26,04
Робот 4	2,31	28,12	2,61	43,75	2,12	37,5	14,57	42,71
Многослойный перцептрон (MLP)								
Робот 1	4,03	83,01	2,10	80,51	2,10	74,50	2,10	79,83
Робот 2	2,10	75,74	4,52	80,75	2,10	72,96	2,10	72,57
Робот 3	2,10	77,32	2,10	81,71	3,31	73,28	2,10	73,91
Робот 4	2,10	73,16	2,10	80,43	2,10	75,37	4,86	71,73
Рекуррентная нейронная сеть (RNN)								
Робот 1	11,46	83,95	2,10	81,23	2,10	74,27	2,23	76,32
Робот 2	2,10	79,21	11,90	82,78	2,10	77,15	2,10	70,81
Робот 3	2,10	71,83	2,10	79,51	12,09	80,14	2,10	72,84
Робот 4	2,10	80,45	2,10	72,11	2,10	79,32	9,60	74,54
Регрессор случайного леса (RFR)								
Робот 1	7,00	98,10	2,32	88,26	2,42	88,19	2,11	84,45
Робот 2	2,23	19,00	5,00	89,87	2,41	29,18	1,9	89,80
Робот 3	1,92	14,74	2,76	87,78	5,00	93,43	2,10	86,78
Робот 4	2,22	16,09	1,98	87,53	2,22	36,59	9,00	90,29
Регрессор гауссовского процесса (GPR)								
Робот 1	40	97,90	12,11	87,53	22,99	84,87	32,58	82,20
Робот 2	12,84	40,64	215	91,31	12,16	62,50	13,40	71,46
Робот 3	11,91	45,22	12,72	55,69	152	95,51	22,45	76,07
Робот 4	12,01	31,43	12,13	41,53	22,15	35,54	188	93,11

В рамках данной работы метод оценки сходства датасетов применен с целью оценки обобщающей способности моделей машинного обучения для анализа данных, собранных с разных промышленных роботов. Данная оценка необходима для оптимизации вычислительных и временных ресурсов на использование моделей анализа данных. Результаты оценки сходства представлены в таблице 2.

На основе полученных результатов сходства датасетов с разных роботов можно сделать вывод о высокой доле сходства данных, собранных в процессе рабочего цикла.

Результаты тестирования моделей анализа данных на примере задачи прогнозирования температуры привода на осях промышленных роботов представлены в таблице 3 [10]. Для тестирования использованы следующие метрики: суммарное время об-

учения и тестирования модели ( $t$ , сек), точность прогнозирования значения целевого параметра в заданном интервале  $\pm 0,5$  градусов ( $p$ , %).

Описание тестируемых моделей

1. Линейная модель – модель с одним слоем (реализуется через программную библиотеку «Keras»; функция потерь – среднеквадратичная ошибка; оптимизатор – «Adam»; количество эпох – 20).

2. Многослойный перцептрон – модель с двумя скрытыми слоями по 64 нейрона и одним выходным нейроном (реализуется через программную библиотеку «Keras»; функция потерь – среднеквадратичная ошибка; оптимизатор – «Adam»; активатор слоя – «relu»; количество эпох – 20).

3. Рекуррентная нейронная сеть – модель с одним скрытым слоем долговременной краткосрочной памяти (LSTM) размером в 32 нейрона (реализуется через программную библиотеку «Keras»; функция потерь – среднеквадратичная ошибка; оптимизатор – «Adam»; количество эпох – 20).

4. Регрессор случайного леса – модель регрессии с максимальной глубиной леса 5 и количеством деревьев решений 10 (реализуется через программную библиотеку «Scikit-learn»).

5. Регрессор гауссовского процесса – модель регрессии с дисперсией дополнительного гауссовского шума измерений  $1e-12$  и количеством перезапуска оптимизаторов 1 (реализуется через программную библиотеку «Scikit-learn»).

В таблице 3 представлены результаты обучения перечисленных пяти моделей анализа данных на обучающих выборках (название промышленного робота, с которого сформирована обучающая выборка, указано в столбце) и результаты тестирования моделей на тестовых выборках (название промышленного робота, с которого сформирована тестовая выборка, указано в строке).

Из результатов тестирования различных моделей машинного обучения на датасетах, сформированных с разных промышленных роботов, видно, что часть обученных моделей (MLP, RNN, RFR) показывают высокую точность при тестировании, что позволяет сделать вывод о хорошей обобщающей способности получившихся моделей для анали-

за данных с разных единиц оборудования. Использование уже обученных моделей анализа данных позволяет сократить временные ресурсы на конструирование новых моделей.

#### Результаты имитационного моделирования

Согласно полученным результатам, подход, реализующий алгоритм подбора моделей, позволяет сократить временные ресурсы для их обучения, что даст возможность уменьшить экономические издержки (на этапе конструирования и тестирования модели) при процессе принятия решений на основе данных. В программной среде моделирования Arena Simulation разработана модель для сравнения затраченного времени. Данная модель производит расчет экономии временных ресурсов на конструирование новых моделей в зависимости от наличия достаточного количества схожих датасетов (приемлемых для анализа) и процента потери точности прогнозирования модели. Из результатов работы имитационной модели следует, что ситуация с наибольшей экономией временных ресурсов (до 18,6%) на конструирование новых моделей машинного обучения возникает при достаточном количестве датасетов (от 70%), имеющих схожий набор данных, и наименьшей потери точности прогнозирования (до 15%).

Для оценки экономических издержек была использована следующая модель [11, 12], адаптированная под процесс принятия решений по предиктивному ТОиР для промышленных роботов с учетом алгоритма подбора моделей анализа данных. Модель основана на следующих ключевых параметрах:

- 1) расходы на правильно спрогнозированный отказ;
- 2) расходы на обслуживание, включающие расходы на регулярное техническое обслуживание оборудования;
- 3) расходы на конструирование и обучение моделей анализа данных;
- 4) суммарная экономия от применения предиктивного технического обслуживания.

Для парка промышленных роботов разработана следующая экономическая модель принятия решений № 1 (формулы 1, 2):

$$TP_{savings} = \sum_{i=TP} (R - r) \left( \frac{\Delta t_i}{n} \right) - (t_k \cdot Cost_k + t_{test} \cdot Cost_{test}), \quad (1)$$

где  $R$  – стоимость замены комплектующих;

$r$  – стоимость ремонта оборудования;

$n$  – количество дней для прогнозирования потенциального отказа;

$\Delta t_i$  – временной промежуток для анализа выборки;

$TP$  – истинные прогнозы отказов оборудования в рамках временного промежутка.

$TP_{savings}$  – оценка экономии на основе обнаруженных сбоев. Если сбой обнаружен в нужное время, но в неправильной единице оборудования или подсистеме, это засчитывается как ложноположительный результат. Истинные положительные стороны выражаются в экономии, которая представляет собой разницу между затратами на замену и ремонт;

$t_k$  – временные затраты на конструирование модели интеллектуального анализа данных;

$Cost_k$  – оценка расходов в условных единицах, необходимых для процесса конструирования модели интеллектуального анализа данных;

$t_{test}$  – временные затраты на тестирование и валидацию модели интеллектуального анализа данных;

$Cost_{test}$  – оценка расходов в условных единицах, необходимых для процесса те-

стирования и валидации модели интеллектуального анализа данных.

$$FN_{cost} = FN \cdot R \cdot FP_{cost}, \quad (2)$$

где  $FN$  – прогнозы отказов оборудования, не обнаруженные в рамках временного промежутка;

$FN_{cost}$  – оценка расходов стоимости замены оборудования на основе невыявленных сбоев. Данная категория показаний представляет реальные сбои в работе оборудования и подсистемы, которые не были обнаружены в течение определенного временного промежутка. Ложноотрицательные результаты переводятся в стоимость замены;

$FP_{cost}$  – оценка расходов стоимости проверки оборудования на основе ложных данных анализа. Данная категория показаний определяет выданные предупреждения в оборудовании и подсистеме, в которых в течение определенного временного промежутка в будущем не происходит сбоев. Ложные срабатывания переводятся в стоимость проверки.

$$Total_{savings} = \sum_{robot\ node} (TP_{savings} - FN_{cost} - FP_{cost}), \quad (3)$$

где  $Total_{savings}$  – итоговая оценка в условных единицах расходов стоимости технического обслуживания на основе анализа данных.

С учетом расходов не только на оценку прогнозных моделей, но и на ресурсы, необходимые для конструирования и обучения, получается следующая экономическая модель № 2 (формулы 4, 5):

$$TP_{savings} = \sum_{i=TP} (R - r) \left( \frac{\Delta t_i}{n} \right) - (t_{test} \cdot Cost_{test}), \quad (4)$$

$$FN_{cost} = FN \cdot R \cdot FP_{cost} \cdot k_{accuracy} + (t_{selection} \cdot Cost_{selection}), \quad (5)$$

где  $k_{accuracy}$  – коэффициент потери точности модели интеллектуального анализа данных;

$t_{selection}$  – временные затраты на подбор и рекомендацию модели интеллектуального анализа данных;

$Cost_{selection}$  – оценка расходов, необходимых для процесса подбора и рекомендации модели интеллектуального анализа данных.

Для оценки экономической целесообразности внедрения алгоритма подбора предиктивных моделей на основе расчета сходства датасетов был применен метод имитационного моделирования. В программной среде Arena Simulation разработана имитационная модель, позволяющая оценить эффект от внедрения алгоритма подбора модели анализа данных (рис. 2). Имитационная модель состоит из следующего набора блоков:

1) блок «создание сущности» – под сущностью подразумевается модель анализа данных, на основе прогнозов которой производятся экономические расчеты для при-

ятия дальнейших решений по инспекции, ремонту и обслуживанию оборудования;

2) блок для хранения переменных, в котором производится первичная инициализация расчетных значений, которые включают в себя: время конструирования и тестирования модели (40–215 и 12–32 секунд соответственно), условные стоимости конструирования и тестирования (9–11 у.е. и 7–10 у.е. соответственно), условную экономию за счет корректно спрогнозированных отказов (10000–20000 у.е.);

3) блоки подготовки данных, конструирования и тестирования модели, использующие значения из ранее инициализированных переменных;

4) блоки расчетов расходов на основе данных, учитывающие время и стоимость работы с моделями анализа данных, расходы по инспектированию оборудования (4000 у.е.) и по ремонту оборудования (8000 у.е.);

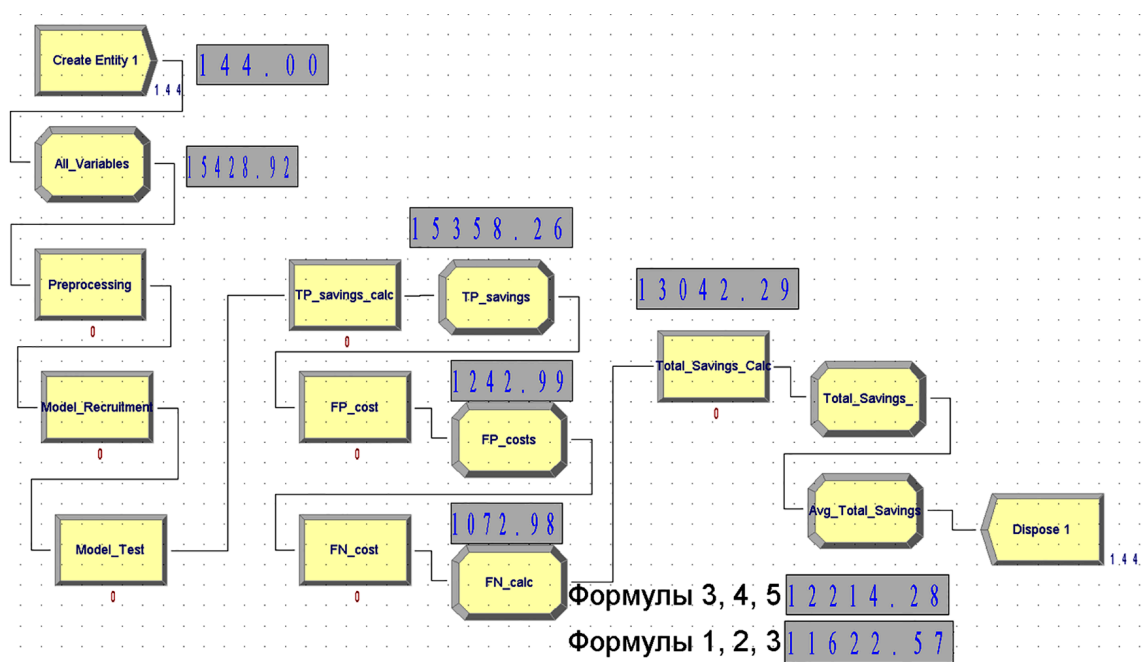


Рис. 2. Имитационная модель для подсчета и сравнения параметра  $Total_{savings}$  для двух экономических моделей

5) блок итогового расчета полученной условной выгоды от принятия решений на основе данных;

6) блок калькуляции среднего значения итогового расчета в течение всего времени работы имитационной модели.

Результаты имитационного моделирования, наглядно демонстрирующие экономию временных ресурсов на конструирование моделей анализа данных за счет внедрения алгоритма подбора модели: итоговая средняя экономия ( $Total_{savings}$ ) модели № 1 равняется 11622 у.е. (моделирование 24 часа, обработано 144 сущности), а итоговая средняя экономия модели № 2 равняется 12214 у.е.

Исходя из результатов сравнения двух имитационных моделей (основанных на экономических моделях принятия решений № 1 и № 2), при заданных параметрах моделирования в условных единицах вторая модель (спроектированная с учетом разработанной алгоритмической модели по подбору моделей интеллектуального анализа на основе оценки сходства данных) позволяет сократить расходы на использование моделей анализа для принятия решений на основе данных для ТОиР на 5,10%. Получаемые в результате прогнозирования данные о состоянии оборудования и экономические оценки расходов используются в системах информационного обеспечения принятия решений [13] для следующих целей.

1. Оптимизация планового обслуживания – минимизация простоев и рисков за

счет более точного планирования технических работ на основе данных о состоянии оборудования.

2. Диагностика состояния – выявление компонентов, наиболее подверженных износу или отказу, за счет прогнозирования состояния и остаточного срока службы.

3. Управление складскими запасами – оптимизация использования и хранения комплектующих и расходников.

### Заключение

В настоящей работе были исследованы методы и алгоритмы управления моделями машинного обучения для предиктивного технического обслуживания на основе анализа данных. Для оценки применимости методов анализа данных было сконструировано восемь моделей (три модели для задачи классификации нагрузки на ось промышленного робота и пять моделей для задачи прогнозирования температуры электропривода на оси промышленного робота), показавших приемлемую точность.

В рамках подхода по формированию информационного обеспечения для принятия решений по предиктивному техническому обслуживанию был разработан алгоритм подбора оптимальной модели анализа на основе сходства датасетов, сформированных с разных единиц промышленного оборудования. Основной целью использования данного алгоритма является сокращение временных ресурсов на конструирование



новых моделей анализа данных. Для оценки экономической целесообразности применения данного алгоритма были разработаны три имитационные модели: одна для оценки экономии временных ресурсов (до 18,6%) в зависимости от наличия датасетов, имеющих наибольшую степень сходства, и сравнение двух моделей для оценки средней экономии материальных ресурсов на конструирование новых моделей анализа данных (до 5,1%).

Управление большим объемом разнородных данных и моделями анализа данных является одним из ключевых факторов для успешного внедрения предиктивного ТОиР. Управление моделями анализа данных и оптимизация ресурсов для их использования позволяют быстро переобучать модели на новых данных, что делает их более гибкими и адаптивными к изменениям. В дальнейшей работе планируется исследовать способность федеративного и трансферного машинного обучения для возможности адаптации уже обученных моделей в целях решения нового кейса, при условии значительного или незначительного отличия от того кейса, на котором модель была первоначально обучена.

#### Список литературы

1. Kayan H., Heartfield R., Rana O., Burnap P. Penera C. CASPER: Context-aware IoT anomaly detection system for industrial robotic arms // *ACM Transactions on Internet of Things*. 2024. Т. 5, № 3. С. 1-36. DOI: 10.1145/3670414.
2. Carvalho T.P., Soares F.A., Vita R., Francisco R.P. A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance // *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Т. 137. С. 106024. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106024.
3. Torim A., Liiv I., Ounoughi C., Yahia S. B. Pattern Based Software Architecture for Predictive Maintenance // *Symposium of the Norwegian AI Society*. Cham: Springer International Publishing, 2022. С. 26-38. DOI: 10.1007/978-3-031-17030-0\_3.
4. Gopaluni R.B., Tulsyan A., Chachuat B., Huang B. Modern machine learning tools for monitoring and control of industrial processes: A survey // *IFAC-PapersOnLine*. 2020. Т. 53, № 2. С. 218-229. DOI: 10.1016/j.ifacol.2020.12.126.
5. Larocque-Villiers J., Dumond P., Knox D. Automating predictive maintenance using state-based transfer learning and ensemble methods // *2021 IEEE international symposium on robotic and sensors environments (ROSE)*. IEEE, 2021. С. 1-7. DOI: 10.1109/ROSE52750.2021.9611768.
6. Чепкасов А. Ю., Писанкин А. С. Исследование зависимости физических характеристик при работе промышленного манипулятора с использованием методов машинного обучения // *Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 17-20 февраля 2020 г. Томск: Томский политехнический университет, 2020. С. 68-69.*
7. Goncharov A., Savelev A., Krinitsyn N., Mikhalevich S. Automated anomalies detection in the work of industrial robots // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2021. Т. 1019, № 1. С. 012095. DOI: 10.1088/1757-899X/1019/1/012095.
8. Liu G.J., Chen H., Wang L.Y., Zhu D. Metric learning based similarity measure for attribute description identification of energy data // *2020 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*. IEEE. 2020. С. 219-223. DOI: 10.1109/ICMLC51923.2020.9469547.
9. Zhuang F., Qi Z., Duan K., Xi D., Zhu Y., Zhu H., Xiong H., He Q. A comprehensive survey on transfer learning // *Proceedings of the IEEE*. 2020. Т. 109, № 1. С. 43-76. DOI: 10.1109/JPROC.2020.3004555.
10. Гончаров А.С., Савельев А.О., Писанкин А.С., Чепкасов А.Ю. Разработка алгоритма подбора модели анализа данных для прогнозирования работоспособности промышленных роботов // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023. Т. 11, № 4. URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1437> (дата обращения: 01.09.2024). DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.028.
11. Tidriri K., Braydi A., Kazmi H. Data-driven decision-making methodology for prognostic and health management of wind turbines // *2021 Australian & New Zealand Control Conference (ANZCC)*. IEEE. 2021. С. 104-109. DOI: 10.1109/ANZCC53563.2021.9628240.
12. Garan M., Tidriri K., Kovalenko I. A data-centric machine learning methodology: Application on predictive maintenance of wind turbines // *Energies*. 2022. Т. 15, № 3. С. 826. DOI: 10.3390/en15030826.
13. Arena S., Florian E., Zennaro I., Orrù P.F., Sgarbossa F. A novel decision support system for managing predictive maintenance strategies based on machine learning approaches // *Safety science*. 2022. Т. 146. С. 105529. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105529.

УДК 621.6.076  
DOI

## АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ ПОКРЫТИЯ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Довбыш Н.С., Жданов А.В., Новикова Е.А.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
Владимир, e-mail: nickita863@gmail.com

В статье рассматриваются результаты нанесения покрытий методом порошковой лазерной наплавки составом системы «карбид вольфрама – кобальт – хром» (WC-Co-Cr) на подложку из нержавеющей стали марки 20X13 с целью оценки влияния параметров обработки на формирование геометрии и твердости покрытия через значение плотности мощности. Нанесение износостойких покрытий весьма актуально для сред с интенсивным абразивным износом, в частности систем трубопроводов газо- и нефтедобывающей промышленности. Проведена оценка геометрии формируемых слоев покрытий с точки зрения гомогенности структуры и равномерности распределения твердых частиц карбидов. Согласно параметрам нанесения рассчитано значение плотности мощности излучения (интенсивности излучения), которое отражает плотность энергии лазерного излучения, воздействующего на определенную площадь поверхности. Получены значения микротвердости в поперечных слоях покрытий. Установлена зависимость значений твердости от значений плотности мощности. Выявлено, что значения твердости полученных покрытий в 2–2,5 раза выше значений твердости у подложки, что позволяет судить об эффективности и целесообразности выбора порошковой композиции с высоким содержанием карбидов. Также определено, что при снижении плотности мощности твердость покрытия повышается, но вместе с тем увеличиваются вязкость и хрупкость его структуры. Тем не менее, при увеличении плотности мощности структура покрытия стабилизируется, образуя неравномерно распределенные участки с высокой концентрацией твердых частиц карбидов.

**Ключевые слова:** нанесение покрытий, лазерная наплавка, карбид вольфрама, микротвердость, нержавеющие стали, подбор режимов

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 23-29-00545).*

## ANALYSIS OF THE GEOMETRY OF A COATING WITH A HIGH CONTENT OF TUNGSTEN CARBIDES OBTAINED BY LASER SURFACING

Dovbysh N.S., Zhdanov A.V., Novikova E.A.

Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,  
Vladimir, e-mail: nickita863@gmail.com

The article discusses the results of coating by powder laser surfacing with the composition of the tungsten carbide-cobalt-chromium (WC-Co-Cr) system on a substrate made of stainless-steel grade 20X13. The application of wear-resistant coatings is very important for environments with intense abrasive wear, in particular pipeline systems of the gas and oil industry. The geometry of the formed coating layers was evaluated from the point of view of the homogeneity of the structure and the uniformity of the distribution of solid carbide particles. According to the application parameters, the value of the radiation power density (radiation intensity) is calculated, which reflects the energy density of the laser radiation acting on the surface area. The values of microhardness in the transverse layers of coatings are obtained. The dependence of the hardness values on the power density values has been established. It was revealed that the hardness values of the obtained coatings are 2–2.5 times higher than the hardness values of the substrate, which allows us to judge the effectiveness and expediency of choosing a powder composition with a high content of carbides. It is also determined that with a decrease in the power density, the hardness of the coating increases, but at the same time the viscosity and brittleness of its structure increase. However, as the power density increases, the coating structure stabilizes, forming unevenly distributed areas with a high concentration of solid carbide particles.

**Keywords:** coating, laser cladding, tungsten carbide, microhardness, stainless steels, selection of modes

*The work was carried out with the support of the Russian Science Foundation (grant 23-29-00545).*

### Введение

Технологии обработки материалов, основанные на высококонцентрированных потоках энергии, в последние годы весьма активно используются и развиваются. Интенсивность развития данного направления, в частности лазерной обработки, связана в первую очередь с обеспечением высоких физико-механических показателей обработанных изделий, а также с относительной простотой и экономической выгодой ис-

пользования лазерной энергии [1]. Технология лазерной наплавки входит в упомянутую группу высокоэнергетических способов обработки и является эффективным способом получения покрытий с высокими адгезионными и прочностными характеристиками, которые напрямую зависят от выбранного к нанесению материала. Преимуществом технологии является возможность наносить порошковые материалы практически любого состава, включая сложносоставные

композитные вещества микронного или наноразмерного диапазона [2].

Обеспечение высоких эксплуатационных характеристик покрытия в большей степени зависит от выбранных параметров нанесения [3]. Как уже неоднократно доказано многими авторами, параметры нанесения напрямую влияют на формируемую поверхность покрытия: от геометрии и равномерности до физико-механических свойств и гомогенности структуры. Весьма трудоемкой, а часто невыполнимой задачей является установление зависимостей с учетом нескольких параметров нанесения, будь то скорость сканирования, мощность излучения или фокусное расстояние. Введение обобщающей переменной позволяет ощутимо упростить выполнение данной задачи. В качестве такой переменной, которая характеризует количество прикладываемой лазерной энергии на определенную площадь поверхности при заданной скорости сканирования, выбрана линейная плотность мощности (энергии) –  $p$ . Данная переменная позволяет комплексно оценить выбранный режим нанесения и степень его влияния на формирование структуры покрытия. Оценивая структуру покрытия через переменную плотности мощности, можно судить о достаточности или, напротив, о недостаточности прикладываемой энергии излучения для формирования покрытия при тех или иных режимах.

Таким образом, основной **целью данной работы** является оценка влияния параметров обработки на формирование геометрии и твердости покрытия через значение плотности мощности.

#### Материал и методы исследования

В данной работе рассматривается использование метода лазерной наплавки с целью формирования износостойкого покрытия для обеспечения долговечности узлов с интенсивным механическим износом [4, 5]. Работа с различными веществами и порошковыми составами на их основе обуславливает необходимость постоянного поиска оптимальных режимов обработки. Оптимальным в данном случае считается режим, на котором может быть получено равномерное, бездефектное покрытие с высокой степенью адгезии к подложке [6]. Равномерность и адгезия – достаточно очевидные и объективные факторы, судить о которых не составит особого труда, чего нельзя сказать о дефектах, так как они представлены довольно широкой номенклатурой и проявляются в различных формах и видах. В качестве дефектов лазерной наплавки рассматриваются поры, трещины, расслоения, нерасплавленные части-

цы порошка. Включения осколочной формы в структуре покрытия за дефекты считать не следует, так как используемая порошковая композиция на 86% состоит из частиц карбида вольфрама, которые при термической обработке и при фазовых превращениях принимают вид вышеупомянутых включений. В качестве подложки выбрана нержавеющей сталь марки 20Х13.

Порошковая композиция была выбрана с учетом высоких требований к устойчивости абразивному износу. Как известно, соединения углерода с такими металлами, как бор, титан или вольфрам, обладают крайне высокими значениями твердости. За счет этой ключевой характеристики упомянутые соединения являются весьма перспективными в области нанесения износостойких покрытий. Карбид вольфрама является тугоплавким соединением, способным формировать покрытие, превосходящее по твердости любую легированную сталь (~1200 НВ, или 11,7 ГПа). В связи с этим выбор порошкового состава с высоким содержанием этого соединения для лазерной наплавки представляет высокий научный интерес.

Порошковая композиция представляет собой смесь, содержащую 86% карбидов вольфрама, 10% кобальта и 4% хрома. Наличие в составе кобальта повышает твердость покрытия и увеличивает его износостойкость, а наличие хрома придает составу сопротивление коррозии. Фракционный состав порошковой композиции представлен частицами размером от 15 до 45 мкм, что в полной мере удовлетворяет требованиям технологии лазерной наплавки.

Процесс наплавки осуществлялся на лазерном комплексе мощностью до 5 кВт с длиной волны 780 нм. Порошок подавался коаксиально поверхности подложки. В качестве защитного и транспортирующего газа использовался высокочистый аргон.

В качестве варьируемых параметров были выбраны скорость сканирования и фокусное расстояние луча при неизменных параметрах мощности излучения (табл. 1).

Линейная плотность мощности лазерного излучения вычислялась по формуле 1:

$$p = \frac{P}{V \cdot S}, \quad (1)$$

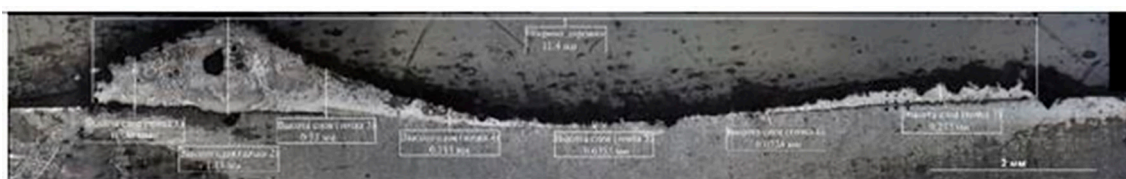
где  $P$  – мощность излучения, Вт;  $V$  – скорость сканирования лазерного пучка, мм/сек;  $S$  – площадь пятна, сфокусированного на обрабатываемой поверхности (формула 2), см<sup>2</sup>

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

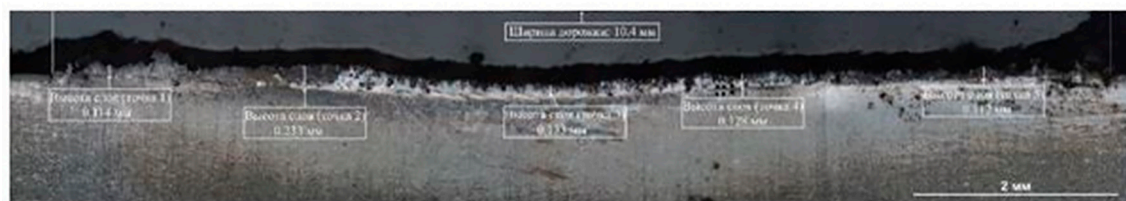
Таблица 1

## Параметры лазерной обработки

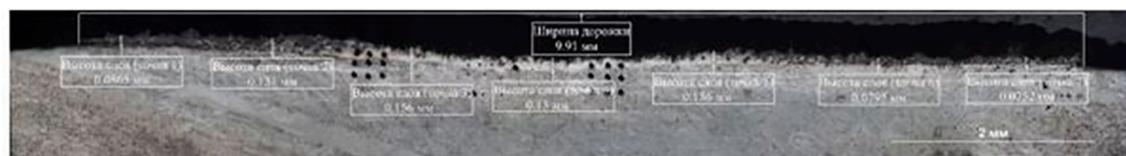
Порядковый номер режима обработки, №	Мощность лазерного излучения (P), Вт	Скорость сканирования лазерного луча относительно обрабатываемой поверхности (V), мм/сек	Фокусное расстояние (F), мм	Диаметр лазерного пятна, мм	Площадь пятна, см <sup>2</sup>	Плотность мощности излучения, Вт/см <sup>2</sup>
1	5000	8	30	15	1,76	355,1
2		9	30	15		315,6
3		10	35	19	2,83	176,6
4		11	35	19		160,6



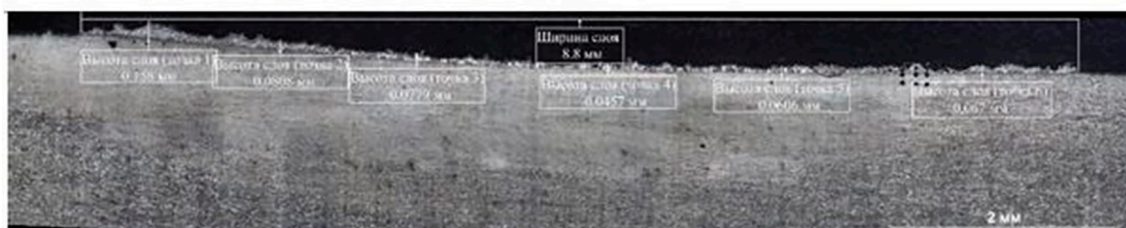
а



б



в



г

Рис. 1. Панорамные снимки поперечного сечения полученных образцов: а – режим обработки 1 с шириной дорожки 11,4 мм; б – режим обработки 2 с шириной дорожки 10,4 мм; в – режим обработки 3 с шириной дорожки 9,91 мм; г – режим обработки 4 с шириной дорожки 8,8 мм

Нанесение покрытия осуществлялось на подложку цилиндрической формы диаметром 30 мм и толщиной 10 мм. Нанесе-

ние происходило без перекрытий за один проход. В результате были получены дорожки с покрытием толщиной от 11 до 8 мм.

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения экспериментальной части работы были получены образцы с покрытием. На рисунке 1 приведены панорамные снимки поперечного сечения полученных образцов.

Из литературы известно, что параметры лазерной обработки напрямую влияют на свойства формируемого покрытия [7]. Обычно эту взаимосвязь описывают через значения мощности излучения и скорости сканирования, но не через обобщенную переменную плотности мощности. Из полученных изображений видно, что при разных значениях плотности мощности геометрия покрытия изменяется, что позволяет установить ряд закономерностей. Так, при повышении плотности мощности и изменении диаметра пятна в пределах от 15 до 19 мм энергия лазерного излучения рассеивается по площади контакта неравномерно – интенсивность излучения снижается от центра к краям пятна. На рисунке 1а видно положение центра интенсивности, возникающего при лазерном излучении, который постепенно угасает ближе к краю пятна. Геометрия покрытия фактически отражает распределение Гаусса в лазерном пятне: центральная область покрытия максимально проплавлена и имеет наименьшую толщину (~70 мкм), что соответствует расположению центра интенсивности излучения, в то время как по краям дорожки степень проплавления ниже, а толщина возрастает до ~233 мкм.

Однако снижение плотности мощности, связанное с изменением фокусного расстояния и скорости сканирования, а за ними и диаметра пятна, приводит к формированию предельно тонкого слоя покрытия, укладываемого в диапазон от 40 до 80 мкм. На рисунке 1г приведено изображение геометрии покрытия, полученного при плотности мощности в 160,6 Вт/см<sup>2</sup>, что является наименьшим значением плотности среди режимов (режим 4). Из рисунка 1г видно,

что геометрия покрытия сформирована схожим с образцом 1 образом: центральная область с наибольшим проплавлением и наименьшей толщиной, равной ~45 мкм, и плавное повышение толщины к краям дорожки вплоть до ~158 мкм.

Установленная закономерность в формировании слоя покрытия также справедлива для двух других образцов.

Геометрия покрытия, полученного на режиме 2 (рис. 1б), является наиболее равномерной среди всех образцов. Тем не менее, присутствуют перепады толщины в пределах до 100 мкм. Средняя толщина покрытия варьирует в диапазоне от 150 до 200 мкм.

Толщина покрытия на образце 3 (рис. 1в) находится в пределах от 80 до 156 мкм.

На поперечном сечении образцов измерялась микротвердость. Методом измерения микротвердости был выбран метод Виккерса, который предпочтителен при высокой степени неоднородности структуры покрытия.

В ходе испытаний осуществлялось несколько измерений в поперечном сечении слоя покрытия, зоне термического влияния и подложке. Нагрузка на индентор составляла 1Н (0,1 кгс), а время выдержки – 10 с. На рисунке 2 приведены изображения отпечатков индентора с соответствующими значениями твердости на образцах 3 и 4.

Значения твердости на линии сплавления покрытия с подложкой являются достаточно низкими по сравнению с твердостью материала основы, что связано с высоким температурным градиентом, возникающим в процессе лазерной наплавки.

В ранее проведенных работах [8] уже была изучена тенденция изменения твердости покрытий, полученных методом лазерной наплавки. Тем не менее, попытки установить связь между изменением значения плотности мощности и значениями твердости покрытия ранее не предпринимались.

Значения твердости, полученные в ходе испытаний, сведены в таблицу 2.

**Таблица 2**

Значения твердости, полученные в ходе механических испытаний методом Виккерса

Твердость в зоне термического влияния, HV	Твердость покрытия, HV	Твердость основы, HV	Плотность мощности, Вт/см <sup>2</sup>
1114	1383	620	355,1
842	1307	670	315,6
458	1723	747	176,6
775	2011	603	160,6

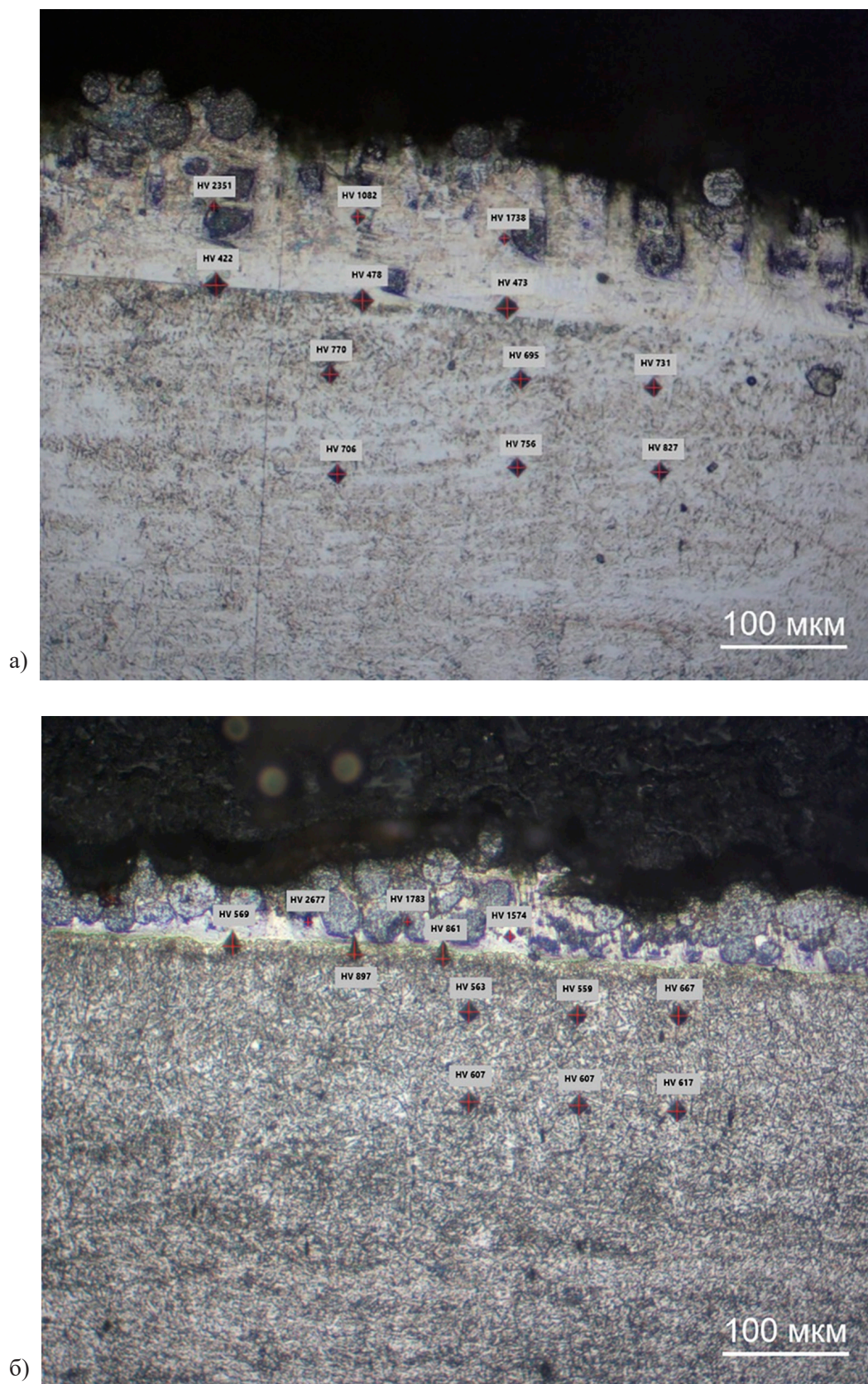


Рис. 2. Результат измерения микротвердости:  
а – отпечатки проведенных измерений на образце под номером 3;  
б – отпечатки проведенных измерений на образце под номером 4

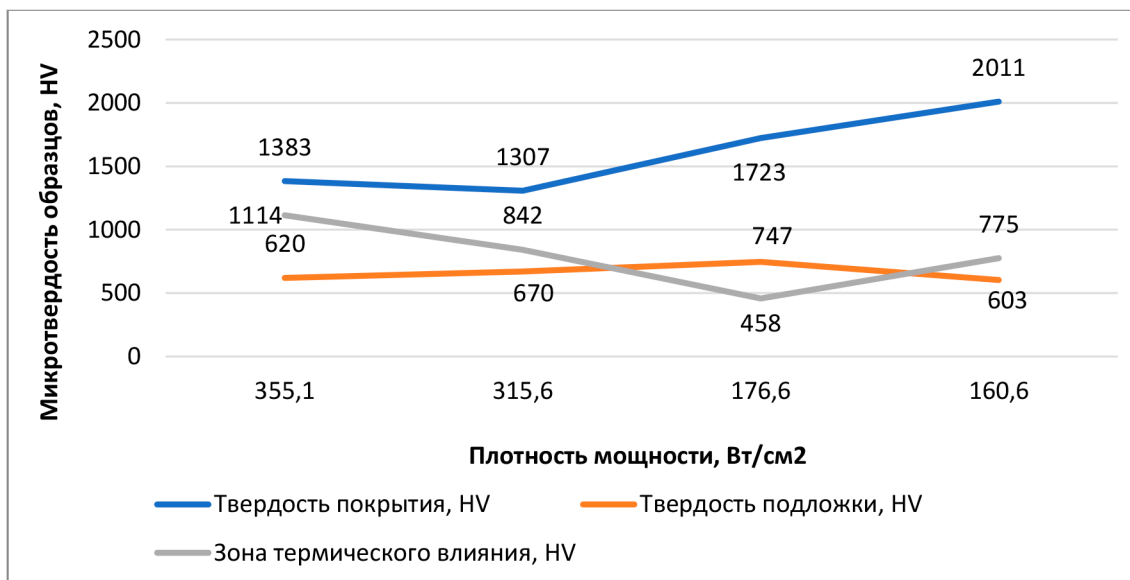


Рис. 3. Зависимость значений микротвердости в покрытии, подложке и зоне термического влияния от значений плотности мощности

На основе полученных данных был построен график, который демонстрирует зависимость значений твердости от плотности мощности в трех зонах: зоне покрытия, зоне термического влияния и зоне подложки (рис. 3).

Из графика видно, что при снижении плотности мощности твердость покрытия увеличивается, в то время как при повышении плотности мощности твердость покрытия находится на уровне 1400 HV. Противоположный эффект наблюдается в зоне термического влияния – при снижении плотности мощности твердость в ней падает. Указанные явления связаны с процессами формирования карбидных фаз в ходе термического влияния. При низких значениях плотности мощности частицы порошка оседают в ванне расплава, растворяясь лишь частично, при этом формируя карбидную фазу WC. При высоких же значениях плотности мощности процесс растворения частиц порошка в ванне расплава сопровождается процессом обезуглероживания, при этом уменьшается содержание углерода в покрытии и WC раскладывается на карбид вольфрама WC и карбид дивольфрама W<sub>2</sub>C [9].

#### Заключение

В результате проведенной работы методом лазерной наплавки были получены образцы с покрытием карбида вольфрама. Параметры лазерной обработки были сведены в обобщающую переменную плотности мощности с целью оценки влияния режимов на формируемую твердость и геометрию

покрытия. Установлено, что при низких значениях плотности мощности в покрытии формируется карбидная фаза WC с высокой твердостью. Разница в твердости между покрытием и подложкой в таком случае достигает значения в 1000 HV, что обусловлено высокой скоростью охлаждения и низкой степенью смещения материала покрытия и подложки в ванне расплава.

При высоких значениях плотности мощности твердость покрытия снижается, что сопровождается процессом обезуглероживания, уменьшением содержания углерода в покрытии и раскладыванием исходной фазы на карбид вольфрама WC и карбид дивольфрама W<sub>2</sub>C.

Установлена закономерность при формировании геометрии покрытия, согласно которой повышение плотности мощности и изменение диаметра пятна в пределах от 15 до 19 мм рассеивают энергию лазерного излучения по площади контакта неравномерно – интенсивность излучения снижается от центра к краям пятна. Однако снижение плотности мощности, связанное с изменением фокусного расстояния и скорости сканирования, а за ними и диаметра пятна, приводит к формированию предельно тонкого слоя покрытия в диапазоне от 40 до 80 мкм.

Значения твердости полученных покрытий в 2–2,5 раза выше, чем значения твердости в подложке, что демонстрирует эффективность выбранной композиции в качестве износостойкого покрытия для ответственных деталей машиностроения.

**Список литературы**

1. Афанасьева Л.Е., Сахаров К.А. Порошковая лазерная наплавка износостойкого композиционного покрытия // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2024. № 1(21). С. 21-26. DOI: 10.46573/2658-5030-2024-1-21-26.
2. Алехин Ю.Г., Грашков С.А., Угримов А.С. Качество наплавленных покрытий лемехов плугов // Качество в производственных и социально-экономических системах: сборник научных трудов 5-й Международной научно-технической конференции (Курск, 21 апреля 2017 года). Курск: Университетская книга, 2017. С. 11-13.
3. Черепанов А.Н., Оришич А.М., Овчаренко В.Е. Влияние наномодифицирующих добавок на свойства многослойного композиционного покрытия, получаемого при лазерной наплавке // Физика металлов и металловедение. 2019. Т. 120, № 1. С. 107-112.
4. Логинова И.С., Быковский Д.П., Адиса С.Б., Солонин А.Н., Миронов В.Д., Петровский В.Н., Чеверикин В.В. Исследование влияния параметров процесса лазерной наплавки порошка стали 316L на структуру и механические свойства образцов // Технология легких сплавов. 2016. № 4. С. 5-11.
5. Lv G., Yang X., Gao Ya., Wang Sh., Xiao Ju., Zhang Y., Chen K., Yang H. Investigation on fretting Wear performance of laser cladding WC/Co06 coating on 42CrMo steel for hydraulic damper // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2023. Vol. 111. P. 106068.
6. Олейник К.И., Бахтеев И.С., Русских А.С. Наплавление многокомпонентных сплавов, содержащих тугоплавкие металлы // Расплавы. 2024. № 1. С. 90-100. DOI: 10.31857/S0235010624010073.
7. Казинаускас А.Ю., Ершов Е.В. Модель взаимодействия обрабатываемой поверхности и наносимого материала для повышения качества адгезии при лазерной наплавке // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. Распознавание – 2019: сборник материалов XV Международной научно-технической конференции (Курск, 14–17 мая 2019 года). Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 92-93.
8. Афанасьева Л.Е., Раткевич Г.В. Лазерная наплавка покрытия NiCrBSiFe-WC с помощью многоканального лазера // Письма о материалах. 2018. Т. 8, № 3(31). С. 268-273. DOI: 10.22226/2410-3535-2018-3-268-273.
9. Довбыш Н.С., Гаврилов Д.И., Жданов А.В., Морозов В.В. Изучение распределения микротвердости в покрытии на основе карбидов вольфрама, полученном методом лазерной наплавки на поверхности нержавеющей стали // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2023. Т. 87, № 11. С. 1626-1630.
10. Рахадиллов Б.К., Муктанова Н., Журерова Л.Г. Применение технологии HVOF для получения износостойких покрытий на основе WC – обзор // Вестник НЯЦ РК. 2023. № 1. С. 4-14. DOI: 10.52676/1729-7885-2023-1-4-14.



УДК 004.7  
DOI

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЕБ-ПОДДЕРЖКИ НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<sup>1,2</sup>Игнатьев И.Н., <sup>1,3</sup>Башарина О.Ю.

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова»  
Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, e-mail: ignatievanyaya@mail.ru;  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск;  
<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», Екатеринбург,  
e-mail: basharinaolga@mail.ru

Цель исследования заключается в разработке методов и средств веб-поддержки интернет-ресурсов в области научно-организационной деятельности. В частности, предлагается создание нового фреймворка, объединяющего разрабатываемые модели и инструментальные средства в рамках единой технологии организации веб-порталов в вышеупомянутой области. Данный фреймворк позволит автоматизировать и унифицировать технологические процессы проектирования, разработки, применения и сопровождения веб-порталов. Тем самым он обеспечит существенное сокращение времени на создание и модификацию таких интернет-ресурсов, а также их адаптацию к новым направлениям научно-организационной деятельности. Известные инструменты подобного назначения зачастую ориентированы на поддержку отдельного направления научно-организационной деятельности. В отличие от них, фреймворк позволит интегрировать веб-поддержку различных направлений такой деятельности в рамках единого веб-портала. Реализован действующий прототип фреймворка. В качестве его базового программного обеспечения используется система управления контентом сайта October. Прототип фреймворка успешно применен для поддержки работы веб-сайта международного научного семинара. В частности, с его помощью реализован ряд схем выполнения бизнес-логики отдельных процессов функционирования сайта, включая представление и рецензирование научных работ. Результаты применения прототипа фреймворка позволили существенно сократить трудозатраты на поддержку проведения семинара.

**Ключевые слова:** научно-организационная деятельность, веб-поддержка, автоматизация, инструментарий, среда разработки

*Исследование проведено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах» (рег. № 121032400051-9).*

## METHODS AND TOOLS FOR WEB SUPPORT OF SCIENTIFIC AND ORGANISATIONAL ACTIVITIES

<sup>1,2</sup>Ignatev I.N., <sup>1,3</sup>Basharina O.Yu.

<sup>1</sup>Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, e-mail: ignatievanyaya@mail.ru;  
<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk;  
<sup>3</sup>Ural State University of Economics, Yekaterinburg, e-mail: basharinaolga@mail.ru

The purpose of the study is to develop methods and tools for web support of Internet resources in the area of scientific and organizational activities. In particular, the creation of a new framework that will combine the developed models and tools into a unified technology for organizing web portals in the above-mentioned area. This framework will automate and unify the technological processes of designing, developing, using, and maintaining web portals. Thus, it will provide a significant reduction of overheads for the creation and modification of such Internet resources, as well as their adaptation to new areas of scientific and organizational activities. Known tools for this purpose are often focused on supporting a separate area of scientific and organizational activity. In contrast, the framework will integrate web support for different areas of such activities within a single web portal. A working prototype of the framework has been implemented. The October website content management system is used as the basic software. The framework prototype has been successfully used to support the work of the international scientific workshop website. In particular, it was used to implement a number of schemes for executing the business logic of individual processes for the functioning of the site functioning, including the submission and review of scientific papers, were implemented. The results of the framework prototype use allowed us to significantly reduce the overheads of supporting the workshop.

**Keywords:** scientific and organizational activities, web support, automation, tools, development environment

*The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. FWEW 2021 0005 “Technologies for the development and analysis of domain-oriented intelligent group control systems in non-deterministic distributed environments” (reg. No. 121032400051-9).*

### Введение

Сегодня доступ к разнообразной информации и оперирование ей в рамках научно-организационной деятельности является актуальной и не решенной в полной мере задачей [1]. Здесь под деятельностью понимается некоторая совокупность действий (операций), выполняемых в рамках подготовки и проведения мероприятий. При этом всю научно-организационную деятельность можно условно разделить на две составляющие (рис. 1): научную и организационную [2, с. 193].

Сегодня целесообразно обеспечивать веб-поддержку научно-организационной деятельности путем организации соответствующего интернет-ресурса в виде сайта или портала [3]. Веб-сайт представляется одной или набором логически связанных между собой веб-страниц, а также местом расположения контента сервера. Как правило, сайт в сети Интернет представляет собой массив связанных данных, имеющий уникальный адрес и воспринимаемый его пользователями как единое целое. В то же время веб-портал – это сайт в компьютерной сети, который предоставляет пользователю различные интерактивные интернет-сервисы. Веб-портал может состоять из нескольких сайтов.

Поэтому, с точки зрения авторов статьи, для организации интернет-ресурса, поддерживающего несколько видов научно-организационной деятельности, наиболее предпочтителен веб-портал. При этом основной задачей при организации веб-портала является максимальная автоматизация поддержки научно-организационной деятельности,

которая может обеспечить существенное сокращение трудозатрат на выполнение различных операций в рамках такой деятельности [4].

Основываясь на работах [5, 6], авторы разработали обобщенную схему структуры научно-исследовательского института (рис. 2), на которой представлены интернет-ресурсы (сайты) для поддержки различных видов научно-организационной деятельности, объединенные в рамках одного веб-портала. На схеме показаны основные подразделения института и их сотрудники. Блок «Документы» обобщает результаты документальной деятельности (персональные данные, научные работы, заявки по научно-техническим проектам, отчеты и т.п.) сотрудников. Кроме того, схема обеспечивает отражение взаимодействия сотрудников института с сотрудниками внешних организаций. В дальнейшем при разработке веб-портала осуществляется ориентация на данную схему.

К сожалению, известные системы веб-поддержки научно-организационной деятельности зачастую ориентируются на отдельный вид такой деятельности (общее информационное сопровождение деятельности научной организации [7], поддержку проведения семинаров и конференций [8], редакционную деятельность [9] и др.).

Интеграция их совместного использования представляет собой сложную проблему [10], обусловленную необходимостью согласования различных структур данных, протоколов их передачи и форматов хранения, разных способов регистрации и авторизации пользователей, избыточностью информации и др.



Рис. 1. Классификация видов научно-организационной деятельности

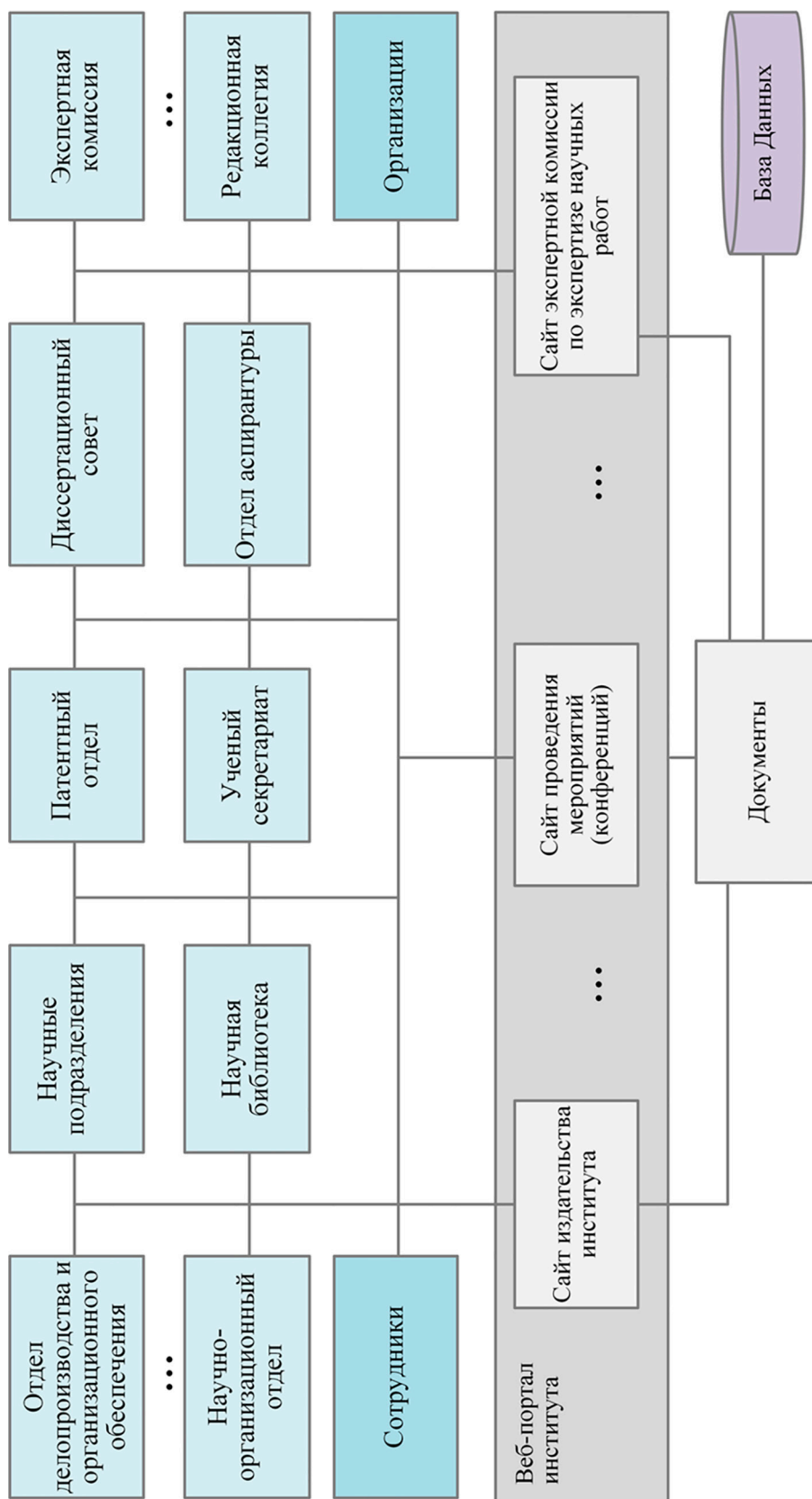


Рис. 2. Обобщенная схема структуры научно-исследовательского института

Известные фреймворки для организации веб-поддержки [11] также не решают данную проблему в полной мере. В сравнении с ними, предлагается инструмент, позволяющий интегрировать веб-поддержку различных направлений научно-организационной деятельности в рамках единого веб-портала.

**Цель исследования** заключается в создании нового фреймворка, объединяющего разрабатываемые модели и инструментальные средства в рамках единой технологии организации веб-порталов для научно-организационной деятельности.

### Материалы и методы исследования

На рис. 3 представлена подробная схема разработки и применения веб-портала. На этой схеме в качестве ключевых компонентов выделяются фреймворк, база данных (БД), разрабатываемый веб-портал, информационные источники (онтологии, справочники и др.), используемые при создании веб-портала, и набор внешних систем. Фреймворк поддерживает автоматизацию работы различных категорий пользователей: разработчиков портала, сотрудни-

ков института, прикладных специалистов, внешних пользователей и др. Он включает следующие основные функциональные возможности:

- поддержку процессов регистрации и авторизации пользователей;
- спецификацию и генерацию веб-форм;
- работу с библиотеками визуализации данных;
- использование наборов predefined шаблонов и стилевиков представления и структурирования информации;
- разработку системы метаданных для описания различных классов информационных объектов, на основе которой в дальнейшем реализуется БД и определяется ее схема;
- организацию доступа пользователей разных категорий к БД на основе стандартов, выбираемых при ее проектировании.

Система метаданных обеспечивает возможность описания сведений об информационных объектах (их содержании, структуре, способах использования и т.д.), сбора и упорядочения информации об этих объектах, фильтрации информации при обработке запросов пользователей и других операций обработки и анализа данных.

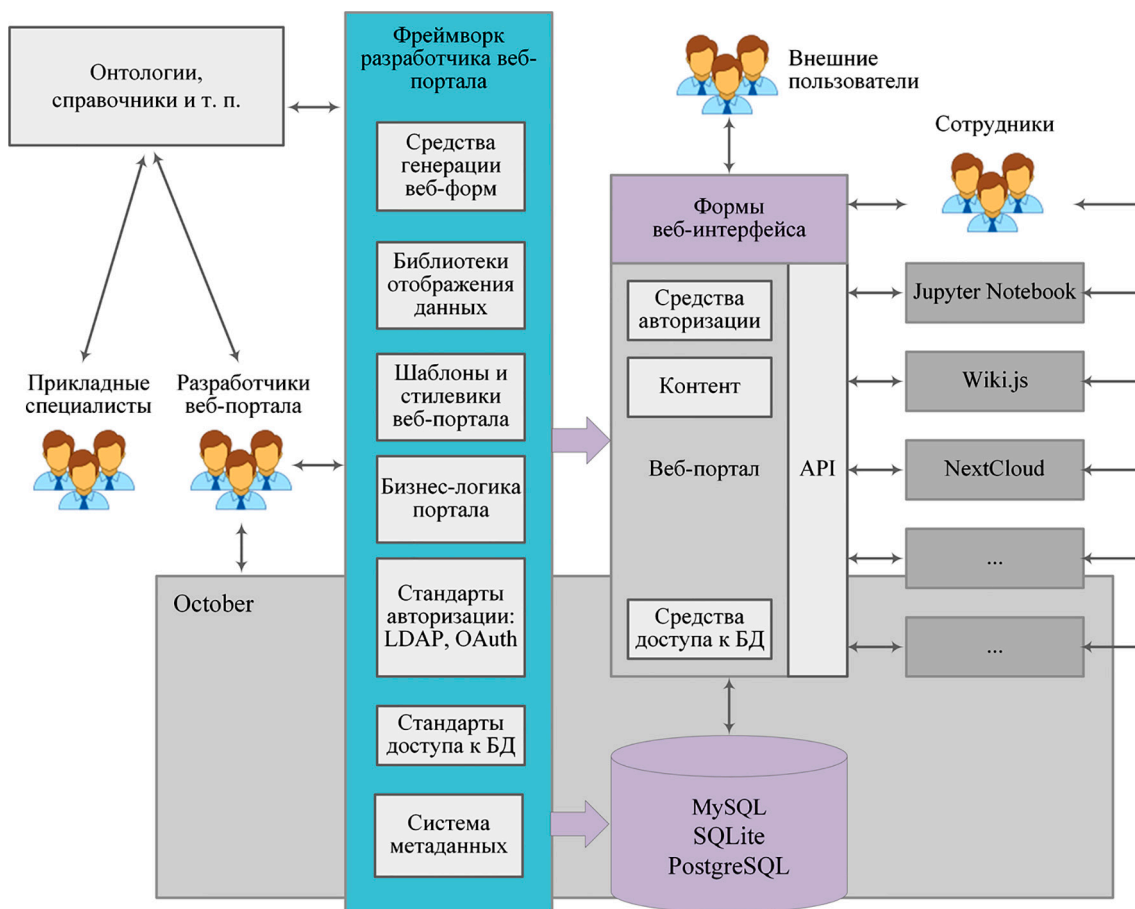


Рис. 3. Общая схема разработки и применения веб-портала

В рамках исследования система метаданных формализована в виде концептуальной модели, базирующейся на наборе сущностей – субъектов (сотрудник, организация и др.), объектов (мероприятие, документ и т.п.) и отношений между ними (событие, время, место и т.д.). Набор сущностей является расширяемым. Схема БД строится на основе системы метаданных.

В рамках общей схемы, представленной на рис. 3, разработка и применение веб-портала базируется на использовании системы управления контентом сайта October с открытым исходным кодом [12]. October основан на популярном PHP-фреймворке Laravel с элементами MODX CMS и Wordpress, что делает его удобным инструментом работы для веб-программистов с различным уровнем квалификации и опыта.

Функциональные возможности данной системы включают регистрацию пользователей и настройку политик прав доступа разных групп пользователей, а также простое и гибкое подключение плагинов. October поддерживает работу с базами данных MySQL, SQLite и PostgreSQL. Кроме того, он также может работать с файловой структурой хранения данных, что позволяет эффективно создавать и поддерживать структуру страниц веб-сайтов и веб-порталов.

Внешние информационные источники (онтологии, справочники и др.) используются для формирования списков данных в различных веб-формах регистрации и авторизации, доступа к контенту веб-портала

и БД, формирования документов и др. Предполагается подключение и применение информационных источников на разных языках. В текущей версии фреймворка используются информационные источники на русском и английском языках.

В рамках фреймворка предусмотрена возможность подключения внешних систем Jupyter Notebook, Wiki.js, NextCloud и др. Подключение внешних систем реализуется с помощью их API. Использование таких внешних систем позволяет разным группам пользователей разрабатывать дополнительную функциональность для организации командной работы и взаимодействия между собой, а также работы с данными и документами внутри группы.

Авторизация пользователей всех категорий реализуется на основе единого доступа аккаунта посредством интеграции средств LDAP или OAuth в систему работы с пользователями веб-портала, поддерживаемую системой October. При авторизации пользователь выбирает роль и получает права доступа к компонентам веб-портала, определяемые данной ролью. В процессе дальнейшей работы он может изменять свою роль без необходимости новой авторизации.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Разработан прототип фреймворка [13] и выполнена его апробация применительно к поддержке функционирования сайта международного научного семинара [14].

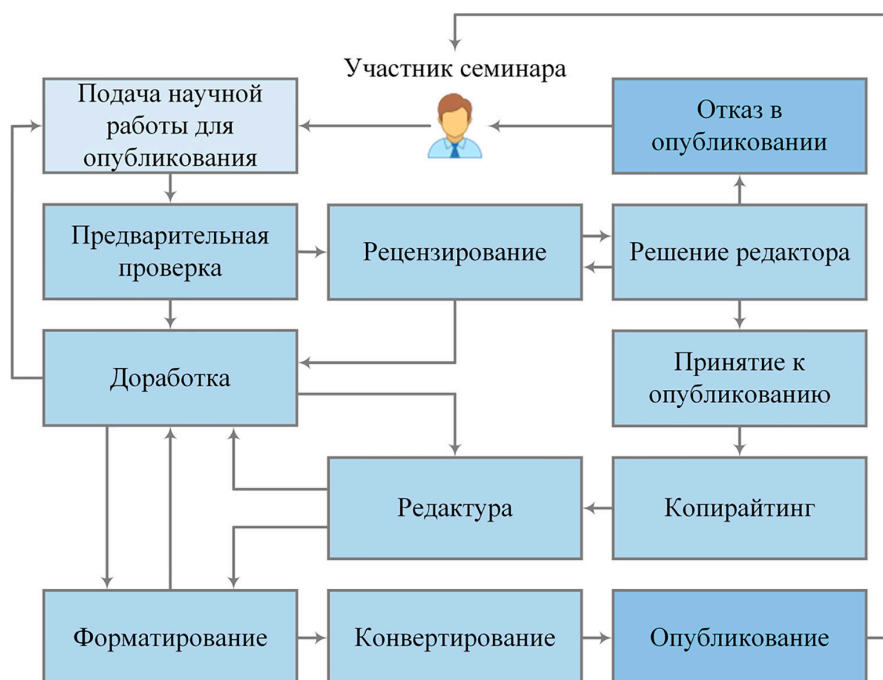


Рис. 4. Схема процесса рассмотрения работ



Рис. 5. Сравнительный анализ временных затрат

В частности, разработана система метаданных, описывающая сведения об информационных объектах, используемых в рамках сайта. На ее основе создана БД MySQL. Реализованы инструменты на движке October для работы с этой БД, включая средства подготовки информационных материалов (писем, рассылок, сертификатов и др.). Сформирован набор регистрационных форм и предложен ряд схем выполнения бизнес-логики отдельных процессов научно-организационной деятельности для данного сайта.

В качестве примера на рис. 4 приведена реализованная схема процесса рассмотрения работ, представленных для опубликования в сборнике научных трудов семинара. При проведении семинара поддержка данного процесса является наиболее сложной и трудоемкой.

Частичное применение средств разработанного прототипа фреймворка для поддержки сайта семинара позволило более чем в восемь раз сократить время, затрачиваемое на организационную работу (рис. 5). Рассматривались следующие основные этапы работы: подготовка сайта семинара, подготовка информации о приглашенных участниках, подготовка и рассылка писем и приглашений, формирование форм регистрации участников, рассмотрение работ и подготовка программы семинара, а также подготовка сертификатов участников и дипломов победителей различных конкурсов, проводимых в рамках семинара. Основной вклад в сокращение трудозатрат внесла автоматизация рассмотрения научных работ, представляемых участниками семинара.

## Заключение

В рамках исследования разработан прототип фреймворка разработки веб-порталов для поддержки научно-организационной деятельности. В частности, подготовлены базовые инструменты для работы с базами научно-организационных данных. Проведена оценка сокращения временных затрат на подготовку и проведение научного семинара. Показано, что разработанное программное обеспечение обеспечивает существенное снижение трудозатрат на поддержку функционирования сайта семинара.

Авторы статьи надеются, что результаты реализации представленного проекта могут быть применены различными субъектами научно-организационной деятельности на практике для создания и эксплуатации веб-порталов научных организаций, редакций, конференций и др. В частности, планируется, что фреймворк будет использован для поддержки бизнес-логики работы пользователей с предметно-ориентированной средой (цифровым двойником) для исследования процессов работы энергетических комплексов [15].

## Список литературы

1. Антопольский А.Б. Эволюция сервисов научной информации в условиях открытой цифровой науки // Информатика и инновации. 2023. № 1 (18). С. 5–20. DOI: 10.31432/1994-2443-2023-18-1-5-20.
2. Мальцева А.А., Монахов И.А., Барсукова Н.Е. и др. Управление изменениями и развитием научных организаций на микроуровне: проблемы и решения. М.: ИНФРА-М, 2020. 304 с. DOI: 10.12737/1041949.
3. Юдина И.Г., Базылева Е.А. Сайт академической организации как платформа для продвижения научных до-

стижений // Знак: проблемное поле медиаобразования. 2019. № 3 (33) С. 150–159. DOI: 10.24411/2070-0695-2019-10318.

4. Филозова И.А., Заикина Т.Н. О роли и месте институционального репозитория в цифровой экосистеме научной организации // International Journal of Open Information Technologies. 2024. № 10 (12). С. 86–101.

5. Структура и механизмы работы академического института: административная поддержка новых научных направлений, исследовательской, публикационной и учебной деятельности / Отв. ред. Е.Б. Барина. М.: ИЭА РАН, 2022. 137 с.

6. Герасимов Б.Н. Моделирование процесса управления научной деятельностью организации // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1 (8). С. 229–236.

7. Власова С.А., Каленов Н.Е. Многофункциональная веб-система регистрации и учета результатов интеллектуальной деятельности ученых // Научные и технические библиотеки. 2022. № 2. С. 29–48.

8. Прокудин Д.Е., Низомутдинов Б.А. Развитие сервисов информационной поддержки научной конференции // Научный сервис в сети Интернет. 2022. Т. 24. С. 434–454.

9. Невзорова О.А., Николаев К.С. Научные издательские сервисы на платформе Lobachevskii-DML // Электронные библиотеки. 2022. № 25 (1). С. 42–63. DOI: 10.26907/1562-5419-2022-25-1-42-63.

10. Ковязина Е.В. Вопросы интеграции цифрового репозитория научной организации с внешними информаци-

онными службами // Распределенные информационно-вычислительные ресурсы. Цифровые двойники и большие данные. (DICR-2019): труды XVII международной конференции (Новосибирск, 03–06 декабря 2019 г.). Новосибирск: Институт вычислительных технологий СО РАН, 2019. С. 223–229. DOI: 10.25743/ICT.2019.97.64.033.

11. Байнов А.М., Кривоногова А.Е., Николаев А.С., Богомолова О.И. Обзор современных фреймворков и инструментов, используемых для разработки web-приложений // Наука без границ. 2020. № 1 (41). С. 19–23.

12. October – PHP CMS platform based on the Laravel Framework. [Электронный ресурс]. URL: <https://octobercms.com/> (дата обращения: 03.09.2024).

13. Ignatev I.N., Abdollahzadeh M. Framework for developing web portals to support scientific and organizational activities // Current Trends in Multidisciplinary Research: Materials of IV International Student Scientific and Practical Conference (Irkutsk, 25 April 2024). Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University. 2024. P. 135–140.

14. The 6th International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2024). [Электронный ресурс]. URL: <https://iccs-de.icss.ru/en/> (дата обращения: 03.09.2024).

15. Еделев А.В., Карамов Д.Н., Башарина О.Ю. Анализ уязвимости автономных микросетей // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2024. № 1 (33). С. 112–121. DOI: 10.25729/ESI.2024.33.1.010.

УДК 621.81  
DOI

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫСЕВА СЕМЯН РОТОРНО-ЛОПАСТНЫМ ДОЗАТОРОМ

<sup>1,2</sup>Исаев Ю.М., <sup>3</sup>Крючин Н.П., <sup>1,2</sup>Семашкин Н.М., <sup>3</sup>Крючин П.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Ульяновск;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», Ульяновск;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», Усть-Кинельский, e-mail: emotion.snm@mail.ru

Исследование посвящено анализу движения семян и расчету мгновенной подачи устройства при небольших колебаниях угла поворота лопасти в стабильном режиме. Предполагается, что движение семян происходит равномерно и соответствует законам перемещения единичного объема семян. Для понимания теории перемещения частиц сыпучего материала по лопасти рабочего органа дозирующего устройства используются уравнения Лагранжа. Также проводится анализ нормальных реакций лопасти на отдельные компоненты. С учетом приведенных уравнений движения, которые включают обобщенную силу, а также результаты расчета осевой скорости лопастей и перемещения частицы в системе, была построена графическая зависимость осевой скорости семенной частицы от времени с учетом заданных характеристик ее перемещения в дозаторе. В результате исследования был сделан вывод, что участки графика неустановившегося движения частицы для заданных условий расчета в основном зависят от скорости вращения лопаток дозатора. Под воздействием первого ряда лопаток из семенного бункера частица начинает перемещаться в цилиндрическом корпусе с периодически изменяющейся осевой скоростью. Затем частица захватывается следующим рядом лопастей и продолжает перемещаться с периодически изменяющейся осевой скоростью. Затухающие колебания переходят в движение частицы с постоянной осевой скоростью, которая зависит от угловой скорости вращения ротора дозатора.

**Ключевые слова:** высевной аппарат, лопасть, сыпучий посевной материал, уравнения движения, разложение сил, действующих на частицу

## THEORETICAL STUDIES OF THE EFFECT OF LOADS ON AIRCRAFT DISC BRAKES

<sup>1,2</sup>Isaev Yu.M., <sup>3</sup>Kryuchin N.P., <sup>1,2</sup>Semashkin N.M., <sup>3</sup>Kryuchin P.V.

<sup>1</sup>Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk;

<sup>2</sup>Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk;

<sup>3</sup>Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, e-mail: emotion.snm@mail.ru

The study is devoted to the analysis of seed motion and calculation of the instantaneous feed of the device with small fluctuations in the blade rotation angle in a stable mode. It is assumed that the seed motion is uniform and corresponds to the laws of movement of a unit volume of seeds. To understand the theory of movement of bulk material particles along the blade of the working element of the metering device, the Lagrange equations are used. An analysis of the normal reactions of the blade to individual components is also carried out. Taking into account the given equations of motion, which include the generalized force, as well as the results of calculating the axial velocity of the blades and the movement of the particle in the system, a graphical dependence of the axial velocity of the seed particle on time was constructed taking into account the specified characteristics of its movement in the dispenser. As a result of the study, it was concluded that the sections of the graph of the unsteady particle motion for the specified calculation conditions mainly depend on the rotation speed of the dispenser blades. Under the influence of the first row of blades from the seed hopper, the particle begins to move in the cylindrical body with a periodically changing axial velocity. Then the particle is captured by the next row of blades and continues to move with a periodically changing axial velocity. The damped oscillations transform into particle motion with a constant axial velocity, which depends on the angular velocity of rotation of the dosing rotor.

**Keywords:** seeding apparatus, blade, loose seed, equations of motion, decomposition of forces acting on a particle

### Введение

Одним из ключевых аспектов, определяющих успешность сельскохозяйственного производства, является равномерное распределение растений на площади питания. Этот фактор во многом зависит от качества посева, которое, в свою очередь, определяется характеристиками высевного устройства.

Изучение текущих высевных технологий и устройств дало возможность определить многообещающее направление – создание роторно-лопастных машин для принудительного распределения семян. Эти аппараты обладают способностью обеспечивать точный контроль за дозировкой семенного материала, учитывая его физико-механические характеристики.



**Целью исследования** является создание теоретической модели процесса посева семян, в котором используется лопастное дозирующее устройство. Основное внимание уделяется анализу движения семенного материала и определению мгновенной подачи лопастного дозирующего устройства при бесконечно малом изменении угла поворота лопасти в стабильном режиме работы.

#### Материалы и методы исследования

В Самарской государственной сельскохозяйственной академии на кафедре «Механика и инженерная графика» ведется разработка лопастного устройства, предназначенного для дозирования семенного материала. Исследуемый прототип данного устройства обеспечивает стабилизацию потока семян перед их попаданием в высевное окно, что способствует равномерному распределению семян (рис. 1). Прототип устройства состоит из следующих элементов: резервуар 1, корпус 2, оснащенный высевным окном 8, ротор 3, а также торсионные втулки 5, оснащенные плоскими лопастями 4, расположенными под опре-

деленным углом атаки  $\alpha$ . Эти лопасти являются основой предлагаемого дозатора. На передней стенке 6 корпуса 2 расположено высевное окно 8, оснащенное заслонкой 7. Между передними плоскими лопастями 4 и стенкой 6 корпуса образуется стабилизационная камера 9.

Роторно-лопастной дозатор функционирует по следующему принципу. В процессе вращения ротора 3 плоские лопасти 4 захватывают семена из семенного резервуара 1 и направляют их в стабилизационную камеру 9. В этой камере семена равномерно распределяются и образуют слой определенной толщины. Благодаря этому давление на лопасти уменьшается, и они начинают поворачиваться, уменьшая угол атаки  $\alpha$ . Это позволяет лопастям мягко перемещать семена к высевному окну 8.

Заслонка 7 на высевном окне регулирует количество подаваемых семян, обеспечивая необходимую норму посева. Таким образом, роторно-лопастной дозатор обеспечивает равномерное распределение семян с учетом их размера, формы и плотности, что способствует увеличению урожайности и снижению затрат на посевные работы [1–3].

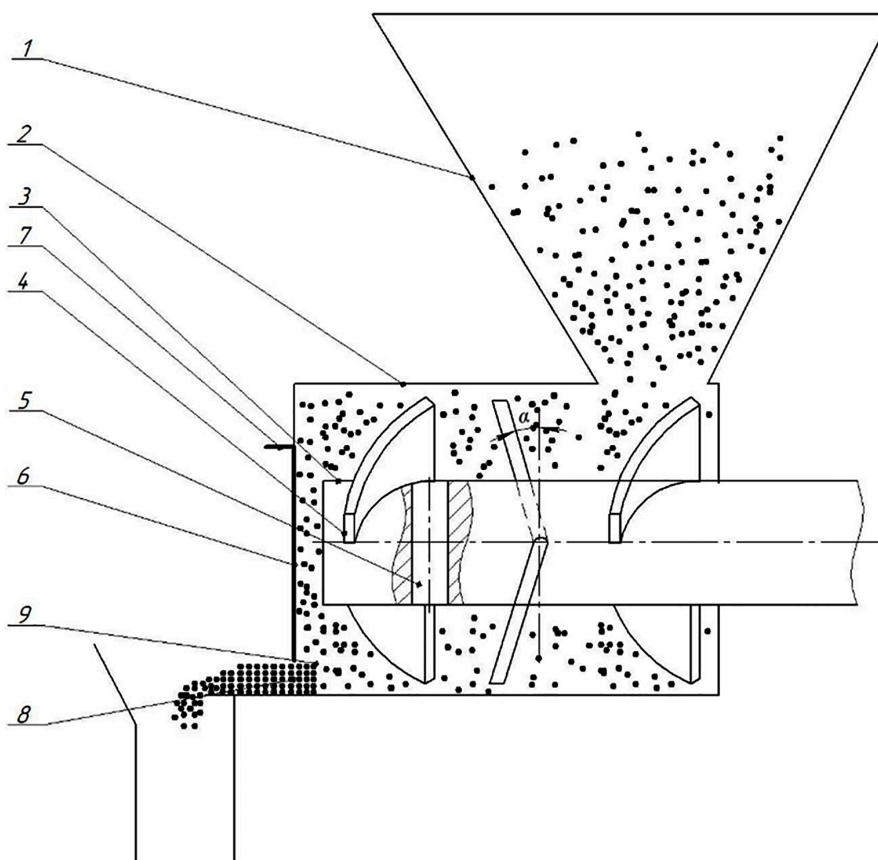


Рис. 1. Схема роторно-лопастного дозатора

### Результаты исследования и их обсуждение

Для исследования движения семенного материала авторы рассчитывают мгновенную подачу роторно-лопастного дозатора при небольшом изменении угла поворота лопасти в установленном режиме работы. Предполагается, что движение слоя семян будет равномерным и соответствовать законам движения единичного объема.

Рассмотрим проекцию лопасти на плоскость, перпендикулярную оси ротора. Выделим лопасти элементарную площадку бесконечно малой величины (рис. 2), равную [4–6]:

$$dS_n = RdRd\varepsilon, \quad (1)$$

где  $R$  – внутренний радиус элементарной площадки, м;  $dR$  – ширина элементарной площадки, м;  $d\varepsilon$  – угол сегмента элементарной площадки, град.

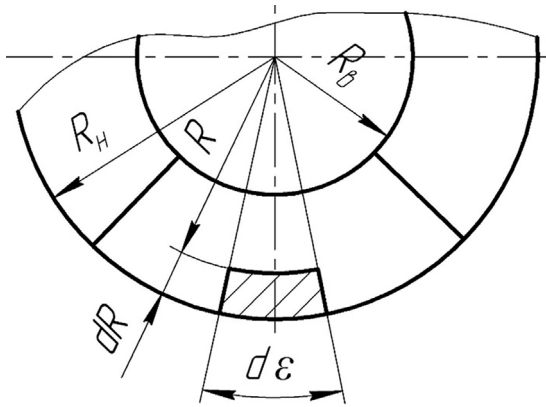


Рис. 2. Развертка лопасти

Для вычисления подачи материала плоской лопастью можно применить следующее уравнение:

$$dQ_{\text{л}} = v_1 \cdot dS_n, \quad (2)$$

где  $v_1$  – осевая скорость перемещения семенного материала, м/с.

После интегрирования уравнения (1)

$$S_n = \iint_{R\varepsilon} RdRd\varepsilon$$

получим, что площадь поверхности перемещающей материал лопасти равна (без учета технологических зазоров) [7–9]:

$$S_n = \frac{\pi}{4} (R_H^2 - R_B^2), \quad (3)$$

где  $R_H$  – наружный радиус лопасти, м;  $R_B$  – внутренний радиус лопасти, м.

Далее для решения теоретического вопроса о взаимодействии вращающейся лопасти и перемещаемой ею частицы высеваемого материала воспользуемся уравнением Лагранжа [10–12].

Из-за неидеальности связей пара сил трения выражается между стенкой корпуса  $F_1$  и поверхностью лопасти  $F_2$ .

Существует такое понятие, как обобщенная координата, в рассматриваемом случае такой является  $s$ , и относительно нее уравнение Лагранжа второго рода запишется

$$\frac{\partial T}{\partial s} \cdot \frac{d}{dt} - \frac{\partial T}{\partial s} = Q_s, \quad (4)$$

где  $T$  – кинетическая энергия частицы высеваемого материала, Дж;  $t$  – время движения частицы, с;  $Q_s$  – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате  $s$ , Н.

Определим  $Q_s$ , для чего вычислим сумму работ, выполненных активной силой и силами сопротивления при перемещении  $\delta s$  [13–15]:

$$\sum \delta A(F_k) = (\sum F_{ks}) \delta s, \quad (5)$$

где  $\sum \delta A(F_k)$  – общая сумма работ активной силы и сил трения, Дж;  $\sum F_{ks}$  – сумма сил по направлению перемещения частицы на поверхности лопасти  $S$  (рис. 3).

Для понимания направления действующих сил на частицу, находящуюся на поверхности лопасти, развернем винтовую линию движения частицы, так чтобы плоскость была касательной к образующей поверхности корпуса (рис. 3).

Реакция  $F_1$  (рис. 3) вектор, которой направлен в обратную сторону от перемещения частицы и действует в направлении  $v_0$ , отсюда

$$F_1 = N_1 \cdot f_1, \quad (6)$$

где  $N_1$  – действующая реакция силы на частицу материала, направленная с поверхности лопасти, которая образует угол  $\alpha$  с осью  $Oz$ , Н;  $f_1$  – коэффициент трения частицы о поверхность лопасти.

При этом сила трения,

$$F_2 = N_2 \cdot f_2,$$

направлена обратно вектору абсолютной скорости, где  $N_2$  – реакция на частицу перемещаемого материала с внутренней поверхности кожуха, Н;  $f_2$  – коэффициент трения частицы о внутреннюю поверхность корпуса.

Представим, что  $Q_s$ , обобщенная сила реакций, будет коэффициентом при  $\delta s$  в выражении (5):

$$Q_s = \sum F_{ks} = F_1 \cos(\alpha + \varphi) + N_2 \cos \alpha - G \sin \alpha - F_2, \quad (7)$$

где  $\varphi$  – угол между векторами скорости частицы  $v$  и ее горизонтальной составляющей  $v_x$ , град.;  $G$  – сила тяжести, Н.

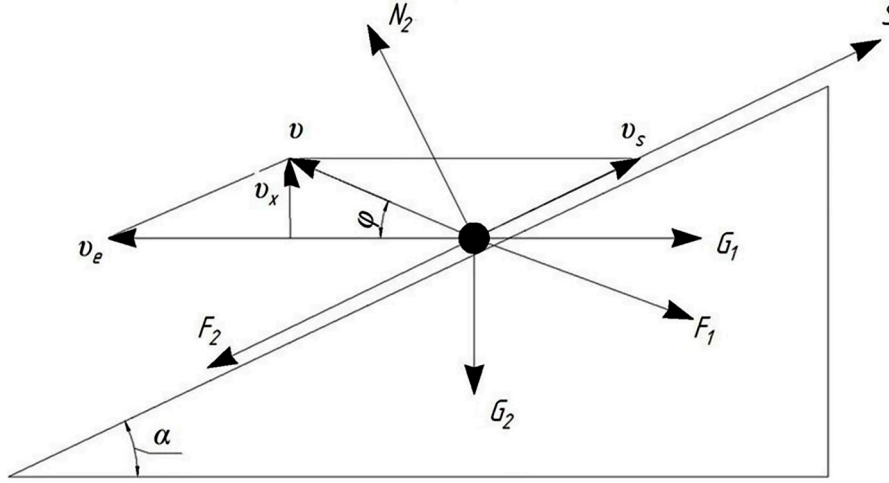


Рис. 3. Разложение векторов по винтовой линии на плоскость

С учетом выражения (7) запишем уравнения для сил трения следующим образом:

$$F_1 = G \cdot f_1 \left( \sin \beta \cos \gamma + \frac{(v \cos \varphi)^2}{rg} \right), \quad (8)$$

$$F_2 = f_2 (G_1 \cdot \sin \alpha + G_2 \cdot \cos \alpha + F_1 \sin(\alpha + \varphi)), \quad (9)$$

$$G_2 = G \cos \beta \quad N_2 = G \cdot \beta \sin \gamma \cdot \sin, \quad (10)$$

$$F_2 = f_2 \left( \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \beta + f_1 \left( \frac{v^2 \cos^2 \varphi}{rg} + \sin \beta \cos \gamma \right) \sin(\varphi + \alpha) \right), \quad (11)$$

$$F_2 = f_2 \cos \theta \left( \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \beta + f_1 \left( \sin \beta \cos \gamma + v^2 \cos^2 \varphi / (rg) \right) \sin(\alpha + \varphi) \right), \quad (12)$$

где  $r$  – переменный радиус вращения частицы указывает на то, что расстояние от центра вращения и направление движения изменяются в зависимости от времени. Это вызывает движение частицы по криволинейной траектории, м.

Определим угол поворота  $\gamma$ , то есть на сколько градусов повернется материальная точка в плоскости перпендикулярной оси вращения лопастей за определенный промежуток времени  $t$ , при этом необходимо учитывать, что частица перемещается с координатой  $s$  [16].

$$\gamma = \omega t - s \cdot \cos \alpha / r. \quad (13)$$

Значения  $\cos(\alpha + \varphi)$ ,  $\sin(\alpha + \varphi)$  выразим через переносную координату:

$$\sin(\alpha + \varphi) = \omega r \sin \alpha / v. \quad (14)$$

Применяя теорему косинусов, получим

$$v = \sqrt{\omega^2 r^2 - 2\omega r \dot{s} \cos \alpha + \dot{s}^2}, \quad (15)$$

где  $\dot{s}$  – первая производная от перемещения частицы, м/с.

Тогда, с учетом выражения (15),

$$\sin(\alpha + \varphi) = \omega r \sin \alpha / \sqrt{\omega^2 r^2 - 2\omega r \dot{s} \cos \alpha + \dot{s}^2}, \quad (16)$$

$$\cos(\alpha + \varphi) = \sqrt{1 - \sin^2(\alpha + \varphi)} = (\omega r \cos \alpha - \dot{s}) / \sqrt{\omega^2 r^2 - 2\omega r \dot{s} \cos \alpha + \dot{s}^2}. \quad (17)$$

Скорость вращения частицы получит выражение

$$v \cos \varphi = \omega r - \dot{s} \cos \alpha. \quad (18)$$

Подставив (8), (10), (12) при этом учитывая (13), (15), (17), (18) подставив в (7), получим

$$Q_s = G \cdot \left\{ f_1 \left( (\omega r - \dot{s} \cos \alpha)^2 / (rg) + \sin \beta \cos(\omega t - s \cdot \cos \alpha / r) \right) \right. \\ \left. \left( (\omega r (\cos \alpha - f_2 \cos \theta \sin \alpha) - \dot{s}) / \sqrt{\omega^2 r^2 - 2\omega r \dot{s} \cos \alpha + \dot{s}^2} \right) - \right. \\ \left. - \sin \beta (f_2 \cos \theta \sin \alpha - \cos \alpha) \sin(\omega t - s \cdot \cos \alpha / r) - \cos \beta (f_2 \cos \theta \cos \alpha - \sin \alpha) \right\}. \quad (19)$$

Поскольку частица находится в постоянном движении, определим ее кинетическую энергию:

$$T = \frac{1}{2} \frac{Gv^2}{g}. \quad (20)$$

После подстановки выражения (15) в (20), получим

$$T = \frac{1}{2} \frac{G}{g} (\omega^2 r^2 - 2\omega r \dot{s} \cos \alpha + \dot{s}^2). \quad (21)$$

Чтобы найти производные этих функций, воспользуемся формулой (1). Затем вычислим значения производных:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{s}} = \frac{G}{g} (\omega r \cos \alpha - \dot{s}), \quad (22)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{s}} = \frac{G}{g} \ddot{s}, \quad (23)$$

$$\frac{\partial T}{\partial s} = 0. \quad (24)$$

После замены выражения  $Q_s$  из (19) и производных (23) и (24) в уравнении Лагранжа (4) и упрощения, авторы пришли к дифференциальному уравнению движения частицы:

$$\frac{\ddot{s}}{g} - G \cdot \left\{ f_1 \left( (\omega r - \dot{s} \cos \alpha)^2 / (rg) + \sin \beta \cos(\omega t - s \cdot \cos \alpha / r) \right) \right. \\ \left. \left( (\omega r (\cos \alpha - f_2 \cos \theta \sin \alpha) - \dot{s}) / \sqrt{\omega^2 r^2 - 2\omega r \dot{s} \cos \alpha + \dot{s}^2} \right) - \right. \\ \left. - \sin \beta (f_2 \cos \theta \sin \alpha - \cos \alpha) \sin(\omega t - s \cdot \cos \alpha / r) - \cos \beta (f_2 \cos \theta \cos \alpha - \sin \alpha) \right\} = 0. \quad (25)$$

Уравнение (25) отражает движение частицы относительно высевающего устройства. В процессе анализа выявлено, что перемещение частицы высевающего материала, в кожухе цилиндрического сечения, при перемещении лопастями. При этом зная, что частица в момент переноса к окну высева перемещается внутри корпуса в раз-

личных направлениях, получим, что коэффициенты трения частицы  $f_1 = 0,5$  – о поверхность лопатки,  $f_2 = 0,5$  – о внутреннюю поверхность корпуса;  $H = 0,025$  м – шаг винтовой линии;  $\omega = 3 \text{ с}^{-1}$  – угловая скорость вращения;  $r = 0,02$  м – внутренний радиус корпуса устройства. На основе полученных результатов был построен рисунок 4.

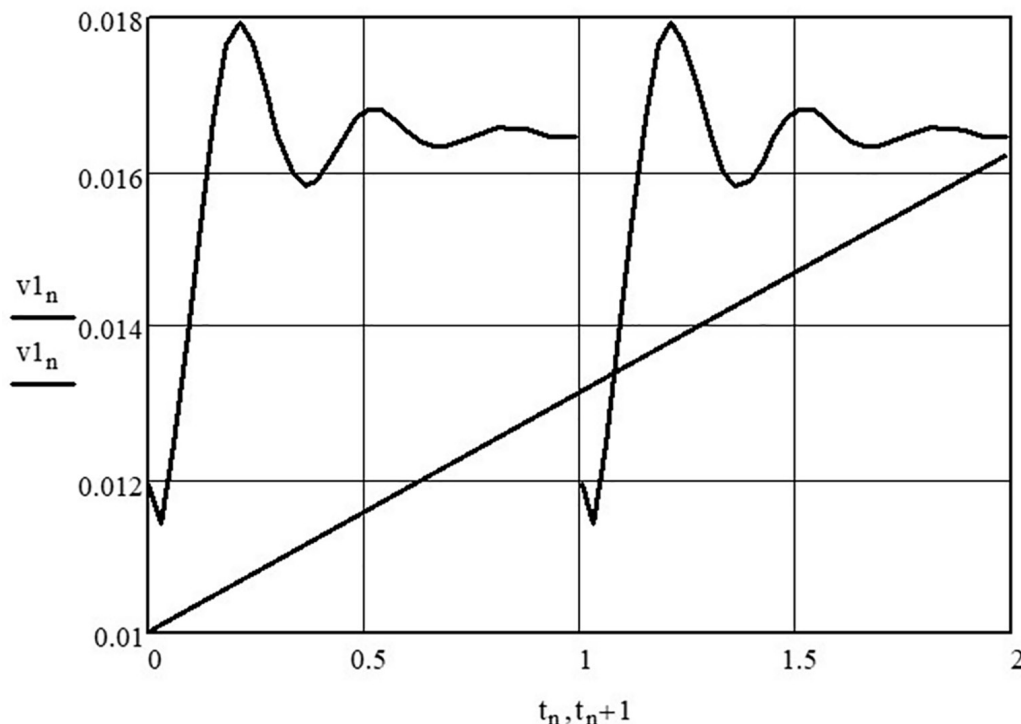


Рис. 4. Осевая скорость частицы материала определяется временем и заданными характеристиками

Участки неустановившегося движения частицы для заданных условий расчета в основном зависят от скорости вращения лопаток дозатора. Под воздействием первого ряда лопаток из семенного бункера частица начинает перемещаться в цилиндрическом корпусе с периодически изменяющейся осевой скоростью. Характер затухающих колебаний осевой скорости представлен на рис. 4. Далее частица захватывается последующим рядом лопастей лопаток и продолжает перемещаться с периодически изменяющейся осевой скоростью. Затухающие колебания переходят в движение частицы с постоянной осевой скоростью, зависящей от угловой скорости вращения ротора дозатора.

Практическая значимость разработки роторно-лопастного дозатора для высева семян заключается в возможности его применения в сельском хозяйстве для точного и равномерного распределения семян по почве. Это способствует повышению урожайности и качества посевов, снижению затрат на посевную кампанию и улучшению условий труда аграриев.

Кроме того, разработка может быть интересна производителям сельскохозяйственной техники, научных учреждений и организаций, занимающихся вопросами сельского хозяйства.

### Заключение

В процессе теоретических исследований и обработки информации было выведено дифференциальное уравнение, описывающее перемещение частицы в сеялке. Это уравнение было получено с помощью преобразования уравнения Лагранжа. Решение этого уравнения позволило определить характер и скорость осевого перемещения частицы материала в устройстве высева, которое в начальный момент времени не стабильно и изменяется в пределах от 0,011 до 0,018 м/с. При этом через полсекунды перемещение стабилизируется, и средняя скорость перемещения частиц составляет 0,013 м/с, что согласуется с экспериментальными значениями подачи материала в пределах от 2 до 5 г/с в зависимости от частоты вращения лопаток.

### Список литературы

1. Isaev Yu.M., Semashkin N.M., Zlobin V.A. Motion patterns of a material particle on a helical surface // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020. Vol. 15, Is. 5. P. 643-646.
2. Isaev Yu.M., Zlobin V.A., Semashkin N.M., Ayugin N.P. Spiral screw as the working body of a conveyor // AIP Conference Proceedings. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment 2021. 2022. P. 030033.
3. Isaev Yu.M., Nekrashevich V.F., Semashkin N.M., Torzhenova T.V. The theory of honey outflow from a honey-

comb // AIP Conference Proceedings. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment 2021. 2022. P. 030022.

4. Морозов А.В., Кнуров А.А., Хабиева Л.Л. Исследование осевого усилия при объемном электромеханическом дорновании // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2 (62). С. 208–214.

5. Osanova Sh., Aduov M., Kapov S., Orlyansky A., Volodya K. The results of experimental research of a rotor seed-metering unit for sowing non-free-flowing seeds // Journal of Agricultural Engineering. 2024. Vol. 55, Is 1. P. 1556.

6. Артамонов Е.И., Артамонова О.А., Казарина А.В., Дик И.И., Ванюшкин В.А. Разработка селекционной сеялки с дисковым высевальным устройством для деланочного посева амаранта метельчатого // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 1 (105). С. 83–90.

7. Габаев А.Х. Исследование различных типов катушек высевальных аппаратов на равномерность подачи зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (207). С. 95–99.

8. Морозов А.В., Кнуров А.А., Хабиева Л.Л. Исследование осевого усилия при объемном электромеханическом дорновании // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2 (62). С. 208–214.

9. Морозов А.В., Кнуров А.А., Хабиева Л.Л. Влияние режимов объемного электромеханического дорнования на увеличение наружного диаметра посадочной поверхности // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1 (61). С. 197–202.

10. Салахутдинов И.Р., Глушенко А.А., Хохлов А.Л. Теоретическое обоснование снижения интенсивности ка-

витационного изнашивания стенок гильзы цилиндров нанесением антикавитационного покрытия // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2 (58). С. 18–24.

11. Халиуллин Д.Т., Дмитриев А.В., Хафизов Р.Н., Яровой М.Н. Исследование движения воздушно-зерновой смеси в рабочей зоне семенорешетки аэромеханического типа // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12, № 4 (63). С. 27–37.

12. Zhichkina L., Mirgorodskaya M., Zhichkin K., Markov A., Ergashev I., Tumanov A., Volgin A. Assessment of degradation transformations of agricultural lands // BIO Web of conferences. XVII International Scientific and Practical Conference “State and Development Prospects of Agribusiness” (Interagromash 2024). EDP Sciences, 2024. P. 04001.

13. Krivoshepko S.N. Kinematic surfaces with congruent generatrix curves // RUDN Journal of Engineering Research. 2023. Vol. 24, Is 2. P. 166–176.

14. Kolinko A.A., Kambulov S.I., Chervyakov I.V., Rudo D.V., Olshevskaya A.V. Investigation of the uniformity of seed distribution during sowing of winter wheat // E3S Web of Conferences. XVI International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – Interagromash 2023”. Rostov-on-Don, Russia, 2023. P. 01009.

15. Saqee F.S., Diakite S., Kavhiza N.J., Pakina E., Zargar M. The efficacy of micronutrient fertilizers on the yield formulation and quality of wheat grains // Agronomy. 2023. Vol. 13, Is. 2. P. 566.

16. Бычков И.Е., Бычкова Т.В. Моделирование параметров шнекового транспортера-распределителя // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 1. С. 40–44.

УДК 004:658.5  
DOI

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЗОВОВ

Лубнина А.А., Шинкевич М.В.

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
Казань, e-mail: alsu1982@yandex.ru, leotau@mail.ru*

Целью исследования является систематизация инструментария прогнозирования тенденций развития высокотехнологичных отраслей промышленности в условиях современных вызовов, обусловленных турбулентностью, связанной с чередой глобальных кризисов. В статье использованы методы описательной статистики и прогнозирования на основе построения полиномиальной линии тренда в качестве перспективных инструментов анализа макроэкономических показателей развития. Анализ современных исследований показал, что проблемы развития высокотехнологичных отраслей промышленности являются актуальной тематикой научных исследований, однако требуют детальной проработки перспективные методики прогнозирования современных тенденций трансформации в условиях турбулентности. В работе наиболее точные результаты прогнозирования показателей развития высокотехнологичных отраслей в условиях неопределенности продемонстрировала полиномиальная линия тренда, для которой характерны высокие критерии достоверности в отличие от других математических методов. Проведенный статистический анализ показал, что высокотехнологические отрасли промышленности имели устойчивое поступательное развитие в 2017–2023 гг., вопреки осложнению экономической ситуации, введению санкций, череде кризисов и смене мирохозяйственного уклада. По результатам выявленных закономерностей и трендов в исследовании предложен комплекс рекомендаций по обеспечению увеличения эффективности высокотехнологичных отраслей промышленности в условиях современных вызовов, который представляет собой перспективный инструмент совершенствования государственной программы, направленной на обеспечение технологического суверенитета страны.

**Ключевые слова:** прогнозирование, статистический анализ, высокотехнологичные отрасли, глобализация, макроэкономические показатели, устойчивое развитие

## FORECASTING DEVELOPMENT TRENDS OF HIGH-TECH INDUSTRIES IN THE CONTEXT OF MODERN CHALLENGES

Lubnina A.A., Shinkevich M.V.

*Kazan National Research Technological University, Kazan,  
e-mail: alsu1982@yandex.ru, leotau@mail.ru*

The aim of the work is to systematize the tools for forecasting trends in the development of high-tech industries in the context of modern challenges caused by turbulence associated with a series of global crises. The article uses methods of descriptive statistics and forecasting based on the construction of a polynomial trend line as promising tools for analyzing macroeconomic development indicators. Analysis of modern studies has shown that the problems of the development of high-tech industries are a relevant topic for scientific research, however, they require detailed elaboration of promising methods for forecasting modern transformation trends in conditions of turbulence. In the work, the most accurate results of forecasting indicators of the development of high-tech industries in conditions of uncertainty were demonstrated by a polynomial trend line, which is characterized by high reliability criteria in contrast to other mathematical methods. The statistical analysis showed that high-tech industries had a sustainable progressive development in 2017-2023, despite the complication of the economic situation, the introduction of sanctions, a series of crises and a change in the world economic structure. Based on the identified patterns and trends, the study proposes a set of recommendations to ensure increased efficiency in high-tech industries in the face of modern challenges, which represents a promising tool for improving the state program aimed at ensuring the country's technological sovereignty.

**Keywords:** forecasting, statistical analysis, high-tech industries, globalization, macroeconomic indicators, sustainable development

### Введение

Определению трендов и перспектив развития высокотехнологичных отраслей промышленности посвящено значительное число научных исследований, анализ которых позволил сделать следующие выводы. Концептуальные подходы к формированию стратегии развития региональной инновационной высокотехнологичной про-

мышленности должны включать все глобальные тренды – устойчивое развитие, ESG-концепция, Индустрия 4.0, циркулярная экономика [1–3]. Качественная цифровая трансформация требует формирования инфраструктуры опытных и пилотных производств высокотехнологичной продукции машиностроения [4]. Одним из методов решения обозначенных задач является под-

держка научно-производственной кооперации и развитие высокотехнологичных корпораций [5], которые будут способствовать минимизации издержек жизненного цикла высокотехнологичной промышленной продукции в условиях цифровой трансформации и позволят усовершенствовать процесс планирования фундаментальных и прикладных исследований [6, 7]. Вместе с тем перспективными инструментами планирования и организации бизнес-процессов являются система контроллинга и система моделирования управления рисками производства высокотехнологичной гражданской продукции [8, 9].

Анализ отечественной научной литературы позволил сделать заключение о том, что тема развития высокотехнологичных отраслей промышленности является популярной, однако требуется более глубокая проработка вопросов совершенствования инструментов обеспечения увеличения их эффективности в условиях неопределенности, что обуславливает актуальность представленной тематики исследования.

**Целью исследования** является систематизация инструментария прогнозирования тенденций развития высокотехнологичных отраслей промышленности в условиях современных вызовов, обусловленных турбулентностью, связанной с чередой глобальных кризисов. Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

- обзор отечественной литературы, направленной на выявление концептуальных подходов к формированию стратегии развития региональной инновационной высокотехнологичной промышленности;
- определение методов и подходов к прогнозированию трендов макроэкономического развития России;
- адаптация перспективных статистических инструментов прогнозирования макроэкономических показателей развития высокотехнологичных отраслей промышленности;
- интерпретация полученных результатов статистического анализа изучаемых макроэкономических явлений;
- разработка комплекса рекомендаций по обеспечению увеличения эффективности высокотехнологичных отраслей промышленности в условиях современных вызовов, основанного на приоритизации основных постулатов ведущих глобальных концепций.

Объектом исследования являются высокотехнологичные отрасли промышленности РФ. Предметом – методы статистической обработки и прогнозирования показателей макроэкономического развития.

## Материалы и методы исследования

С целью определения состояния и перспектив развития высокотехнологичных отраслей промышленности Российской Федерации в исследовании использованы методы описательной статистики для анализа динамики показателей в 2017–2023 гг., а также построены полиномиальные линии тренда четвертой степени для прогнозирования показателей на 2024 г. Приведен статистический анализ показателя «удельный вес высокотехнологичной продукции в общем объеме импорта РФ, %». Информационной базой исследования послужили статистические сборники и обзоры Росстата [10].

## Результаты исследования и их обсуждение

Высокотехнологичные отрасли формируют основу устойчивого инновационного развития страны и характеризуются следующими особенностями:

- значительные инвестиции в НИР;
- большая часть сотрудников имеют высшее образование и ученые степени соответствующих квалификаций;
- разработка и внедрение передовых инновационных и информационных технологий;
- производство технологичных конкурентоспособных изделий.

Важным показателем оценки эффективности развития высокотехнологичных отраслей промышленности является «удельный вес продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВВП Российской Федерации», который в 2023 г. составил 23,5%, что на 1,7% выше уровня 2017 г. (21,8%). Прогноз, основанный на полиномиальной линии тренда четвертой степени, показал, что в 2024 г. удельный вес высокотехнологичных отраслей в ВВП составит 31,5% ( $R^2 = 0,87$ ) (рис. 1).

Кроме того, удельный вес высокотехнологичной продукции в общем объеме импорта РФ в 2023 г. составил 80,9%, что на 9,4% выше уровня 2017 г. (71,5%). Прогноз, основанный на полиномиальной линии тренда четвертой степени, показал, что в 2024 г. удельный вес высокотехнологичных отраслей составит 87,5% ( $R^2 = 0,94$ ). Данный показатель говорит о том, что отечественная высокотехнологичная продукция является конкурентоспособной как на отечественном, так и международном рынках.

Для определения тенденции развития высокотехнологичных отраслей проведен статистический анализ показателя «удельный вес высокотехнологичных товаров в объеме импорта РФ» (рис. 2).



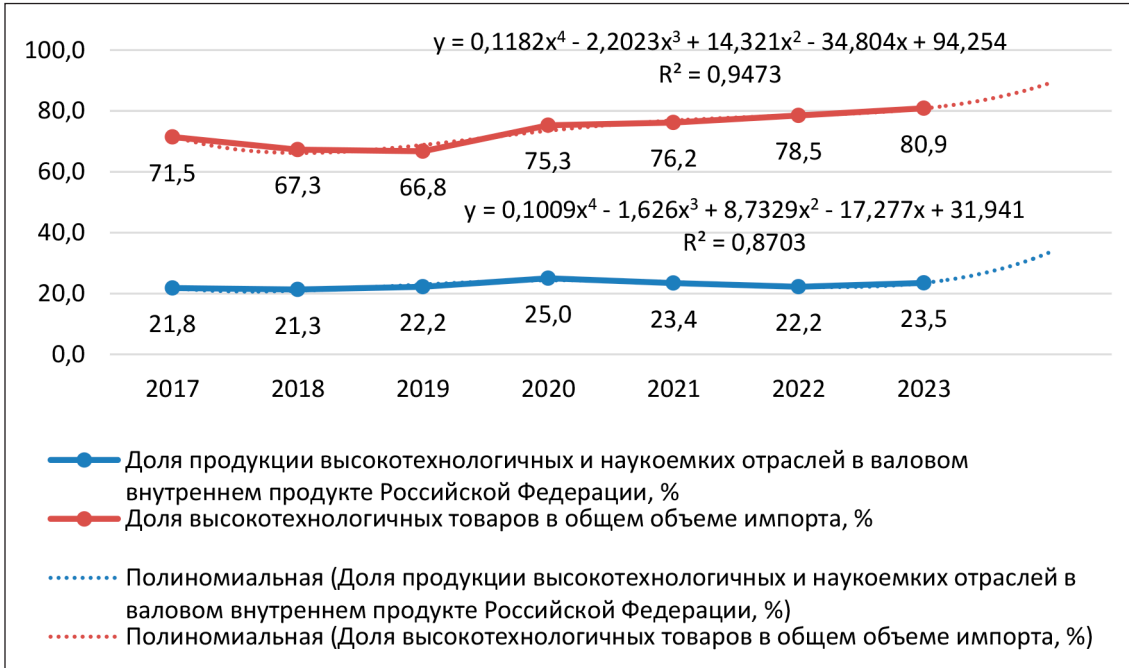


Рис. 1. Полиномиальная линия тренда четвертой степени прогнозирования показателей «удельный вес продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВВП РФ» и «удельный вес высокотехнологичных товаров в объеме импорта РФ»  
 Источник: построено автором по данным [10]

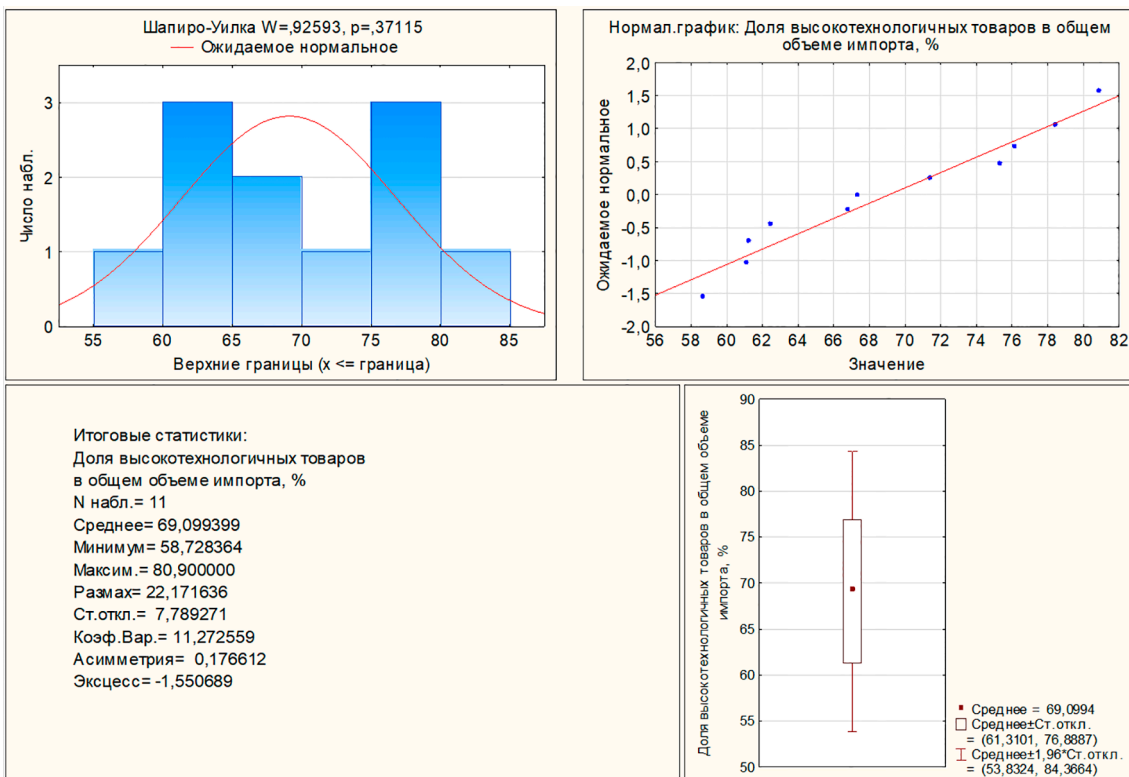


Рис. 2. Окно представления результатов выполнения расчетов по программе статистического анализа показателя «удельный вес высокотехнологичной продукции в общем объеме импорта РФ, %»  
 Источник: получено автором

Интерпретация полученных результатов статистического анализа состоит из четырех элементов.

1. При вероятности ошибки  $\alpha = 0,1$  и числе наблюдений  $n = 11$  критическое значение критерия Шапиро – Уилка  $W_\alpha$  составляет 0,814. Следовательно, полученное значение  $W = 0,925$  выше критического значения и статистическая значимость рассматриваемого показателя, соответственно, больше 0,05, что свидетельствует о нормальном распределении значений показателя «удельный вес высокотехнологичных товаров в объеме импорта РФ, %».

2. Анализ построенных на основе принятого нормального распределения вероятностных графиков позволил оценить полученное расположение значений показателя «удельный вес высокотехнологичных товаров в объеме импорта Российской Федерации», которое подтверждает заключение об однородном и поступательном развитии рассматриваемой отрасли в 2017–2023 гг.

3. Описательные статистики также подтверждают устойчивое развитие высокотехнологичных отраслей промышленности, в том числе низкое стандартное отклонение равное 7,7, коэффициент вариации равный 11,2% говорят о незначительном рассеивании данных и об однородности наблюдений. Размах выборки наблюдается в пределах  $\pm 10\%$  среднего значения.

4. Поскольку коэффициент асимметрии не более 0,5 (в данном случае 0,17), можно сделать вывод о том, что имеет место несущественная асимметрия. Отрицательное значение эксцесса отражает низко-вершинный уровень равномерного распределения (-1,5).

Приведенный анализ подтверждает вывод о том, что рассматриваемые отрасли имели устойчивое поступательное развитие в 2017–2023 гг.

Важнейшим фактором обеспечения эффективности технологических бизнес-процессов является современная инфраструктура основных фондов, оценка состояния которых включает анализ показателей износа, коэффициента обновления, доли машин и оборудования в общем объеме основных фондов (рис. 3).

Коэффициент обновления основных фондов высокотехнологичных отраслей характеризует отношение новых фондов к имеющимся и в 2023 г. составил 12,2, что на 2,3 выше уровня 2022 г., но на 2,7 ниже уровня 2017 г., следовательно, предприятия рассматриваемых отраслей имеют тенденцию к восстановлению после затяжного периода кризисов. При этом степень износа основных фондов высокотехнологичных отраслей РФ составляет 46,8%, что на 0,5% ниже уровня 2022 г., но на 1,5% выше уровня 2017 г. Удельный вес машин и оборудования также имел тенденцию незначительного снижения в последние годы и в 2023 г. составил 56,7%.

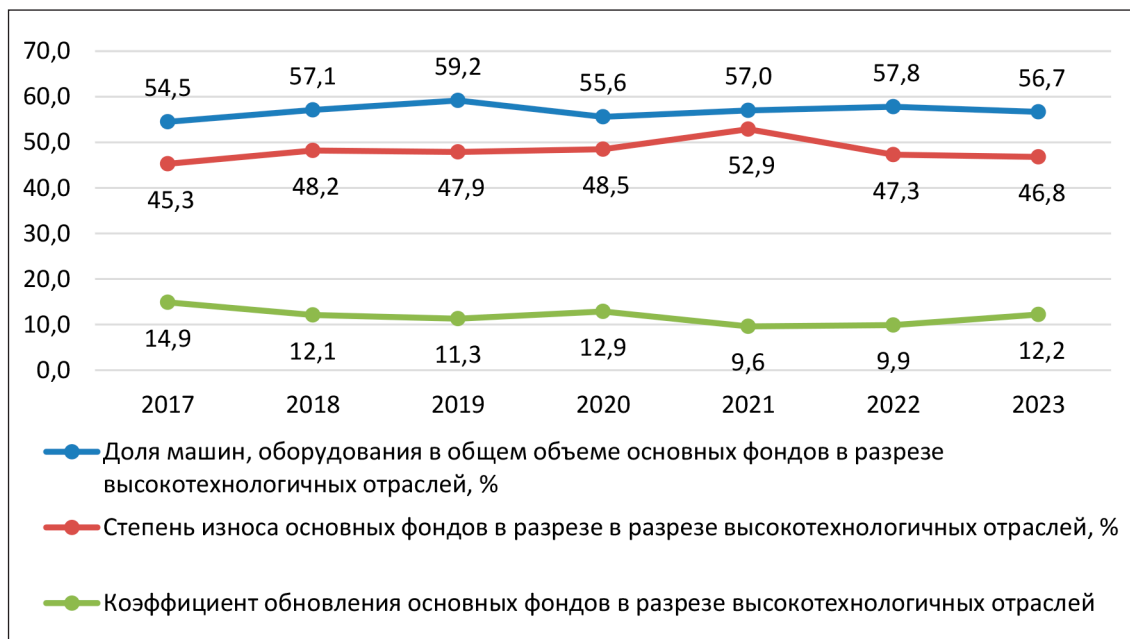


Рис. 3. Графики показателей, характеризующих состояние основных фондов высокотехнологичных отраслей РФ в 2017–2023 гг.

Источник: построено автором по данным [10]

Комплекс рекомендаций по обеспечению увеличения эффективности  
высокотехнологичных отраслей промышленности в условиях современных вызовов

Проблемы	Управленческие воздействия
Обеспечение увеличения доли продукции высокотехнологичных отраслей в ВВП РФ, %	Применение стратегии диверсификации и коммерциализации отечественных научно-технологических разработок с целью обеспечения технологического суверенитета и импортозамещения продукции различных секторов экономики. Разработка собственных революционных инновационных и информационных технологий, а также передовых решений в области обеспечения увеличения экологической эффективности и безопасности проектов. Трансплантация научного знания, повышение квалификации персонала, формирование новых компетенций, связанных с появлением новых форм организации бизнес-процессов
Обеспечение увеличения доли высокотехнологичных товаров в объеме импорта РФ, %	Высокотехнологичные производства направлены не только на удовлетворение потребностей отечественной экономики, а еще и на создание конкурентоспособной продукции, способной завоевывать международные рынки. В этом направлении необходим поиск надежных контактов и союзников в области создания глобальных цепей поставок, технологических платформ и научного партнерства, которые будут способствовать укреплению международного взаимодействия и получению синергетического эффекта от всестороннего сотрудничества
Обеспечение увеличения коэффициента обновления основных фондов	Обновленная инфраструктура основных производственных фондов является фундаментом развития высокотехнологичных отраслей промышленности. Вместе с тем модернизация, реконструкция, обновление основных фондов должны осуществляться в соответствии с концепциями Индустрии 4.0 и 5.0, следовательно, на основе использования киберфизических систем, интегрирующих в единую систему человека и технологии, посредством использования интернета вещей, искусственного интеллекта, роботизации и автоматизации всех процессов, а также использования облачных хранилищ и технологий больших данных
Снижение степени износа основных фондов	Основные фонды высокотехнологичных отраслей отечественной промышленности характеризуются громоздкой инфраструктурой и значительным износом, обновление которых требует значительных инвестиционных затрат. Старая модель создания крупных промышленных комплексов, имеющих превосходства за счет эффекта масштаба, в условиях современной действительности потеряла свою актуальность, на их место приходят компактные, гибкие умные предприятия, способные к быстрой адаптации и переориентации в соответствии с запросами динамично меняющегося рынка
Увеличение доли машин и оборудования в общем объеме основных фондов	Для повышения производительности труда высокотехнологичным предприятиям необходимо увеличивать долю машин и оборудования, наращивая мощности полностью автоматизированных и автономных производственных систем. Приоритетными направлениями развития являются аддитивные производства, 3D-принтеры, цифровые двойники, технологии виртуальной реальности, использование нанотехнологий, биотехнологий, создание мини-заводов и др.

Примечание: предложено автором.

Анализ трендов развития высокотехнологичных отраслей РФ показал, что данный сектор имеет стабильное устойчивое развитие в 2017–2023 гг., имея незначительные колебания, связанные с чередой кризисов и экономической турбулентностью. Следовательно, необходимо разработать комплекс рекомендаций по совершенствованию стратегии научно-технологического развития рассматриваемых отраслей (таблица).

Таким образом, развитие высокотехнологичных отраслей промышленности должно основываться на современных мировых трендах развития, таких как:

1) ESG-концепция и устойчивое развитие, приоритетом которых является переход

к циркулярной экономике посредством создания «зеленых» предприятий, использующих альтернативные источники энергии и экологически эффективные и безопасные технологии;

2) процессы глобализации способствуют созданию надежных цепей поставок, международных транспортных коридоров и направлены на выстраивание эффективных связей, сокращение логистического цикла и минимизацию транспортно-складских издержек;

3) Индустрия 4.0 и 5.0 или переход на шестой технологический уклад посредством создания умных производств, основанных на цифровизации всех бизнес-процессов,

внедрении наилучших доступных технологий, минимизирующих отходы, энерго- и ресурсоемкость производства продукции;

4) нанотехнологии и «мини-заводы», которые заменят традиционные форматы организационных структур и производственных процессов высокотехнологичной продукции различных отраслей промышленности;

5) биотехнологии и геновая инженерия являются перспективными направлениями НТР и имеют широкий спектр различных направлений развития, таких как пищевая промышленность, сельское хозяйство, фармацевтика и медицина, утилизация отходов и др.

Следовательно, высокотехнологичные отрасли промышленности являются основой отечественной экономики, их эффективное развитие позволит обеспечить технологический суверенитет страны.

### Заключение

Прогнозирование современных макроэкономических показателей усложняется нестабильностью и неопределенностью условий развития и, как следствие, непредсказуемостью многих процессов и явлений, которые могут радикально изменить налаженные надежные взаимосвязи и бизнес-процессы. Статья посвящена актуальной проблеме определения трендов и приоритетных направлений развития передовых секторов промышленности, направленных на обеспечение устойчивости и безопасности национальной экономики, технологического суверенитета, конкурентоспособности на глобальных рынках. В работе выявлены концептуальные подходы к формированию стратегии развития региональной инновационной высокотехнологичной промышленности. Интерпретация полученных результатов статистического анализа показала, что высокотехнологические отрасли промышленности имели устойчивое поступательное развитие в последние годы. На основе выявленных закономерностей разработан комплекс рекомендаций по обеспечению увеличения эффективности высокотехнологичных отраслей промышленности в условиях современных вызовов, основанный на приоритизации основных

постулатов ведущих глобальных концепций. Полученные результаты исследования могут быть использованы для расширения применения статистического инструментария прогнозирования макроэкономических процессов и совершенствования государственной стратегии развития высокотехнологичных отраслей промышленности.

### Список литературы

1. Бабкин А.В., Чэнь Л. Оценка эффективности инноваций высокотехнологичной промышленности // Естественно-гуманитарные исследования. 2022. № 41 (3). С. 42–50.
2. Misbakhova Ch.A., Lubnina A.A., Arestova E.N., Isaichev V.A., Pavlikov S.G., Kozin M.N., Alenina E.E. Innovative Strategy for Increasing Competitiveness in Organizational Structures of Industrial Enterprises // Eurasian Journal of Analytical Chemistry. 2017. Vol. 12, Is. 7b. P. 1563–1571. DOI: 10.12973/ejac.2017.00286a.
3. Горький А.С. Концептуальные подходы к формированию стратегии развития региональной инновационной высокотехнологичной промышленности // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2023. № 8–1. С. 35–40. DOI: 10.17513/vaael.2931.
4. Постникова Е.С., Поleshuk А.К. Разработка информационной системы инструментального обеспечения производства (ИС ИОП) опытных образцов высокотехнологичной продукции машиностроения // Инновации в менеджменте. 2022. № 2 (32). С. 56–63.
5. Ермакова Ж.А., Коробейников И.Н., Савкин Н.В. Оценка влияния научно-производственной кооперации на развитие высокотехнологичной корпорации // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2024. Т. 15, № 2. С. 67–76. DOI: 10.18287/2542-0461-2024-15-2-67-76.
6. Голубев С.С., Веселовский М.Я., Хорошавина Н.С. Развитие инструментов управления затратами полного жизненного цикла высокотехнологичной промышленной продукции в условиях цифровизации // Beneficium. 2022. № 3 (44). С. 20–26. DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2022.3(44).20-26.
7. Кулыгина О.С., Волкова Е.С. Планирование фундаментальных и прикладных исследований в интересах создания высокотехнологичной продукции // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 99–7. С. 128–131. DOI: 10.18411/trnio-07-2023-398.
8. Попова Н.И., Ерыгина Л.В., Шапорова З.Е. Контроллинг производства высокотехнологичной гражданской продукции: особенности и структура системы // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022. № 4 (26). С. 105–117. DOI: 10.36718/2500-1825-2022-4-105-117.
9. Галимулина Ф.Ф., Лубнина А.А., Мисбахова Ч.А. Моделирование управления рисками промышленной деятельности хозяйствующих субъектов Республики Татарстан // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18, № 4. С. 251–255.
10. Росстат. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11189> (дата обращения: 01.08.2024).

УДК 004.021  
DOI

## АЛГОРИТМ УЛУЧШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Макаров О.С., Щенникова Е.В.

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск,  
e-mail: makaroff297991@gmail.com, schennikova8000@yandex.ru

Целью исследования является разработка универсального метода распознавания движения, комбинирующего пиксельный и блочный подходы и способного выдавать приемлемые результаты распознавания при малом потреблении вычислительных ресурсов. Описываемый в данной статье алгоритм основан на применении локальных бинарных шаблонов, которые позволяют анализировать связи между соседними пикселями. На предварительном этапе алгоритм использует фильтр Кувахара для сглаживания входящих видеок кадров. Для получения наиболее достоверного результата алгоритм подкрепляется дополнительными точечными проверками на основе сравнения интенсивностей пикселей, используемыми в стандартных методах вычитания фона. Также в сравнениях дескрипторов локальных бинарных шаблонов предлагается опираться на относительный порог дескриптора, в отличие от абсолютного, что приводит к большей гибкости и эффективности, и вводятся прочие улучшения для повышения быстродействия и качества распознавания. Разработанный метод является универсальным, что позволяет использовать его в большинстве сценариев, в том числе и в режиме реального времени, адаптируя процесс обработки под конкретные ситуации путем регулирования входных параметров алгоритма. Представленный метод был протестирован на наборе видеоданных, сегментированных вручную. Результаты тестирования показали, что для большинства сцен с наличием различных негативных факторов, препятствующих корректной сегментации объектов переднего плана, метод показал удовлетворительные результаты, в среднем превосходя другие аналогичные техники по основным показателям качества распознавания.

**Ключевые слова:** поверхностно-временной алгоритм, извлечение фона, распознавание движения, фильтр Кувахара, локальные бинарные шаблоны, дескрипторы подобия, относительное пороговое значение

## ALGORITHM FOR IMPROVING SPATIO-TEMPORAL MOTION DETECTION METHODS

Makarov O.S., Shchennikova E.V.

Ogarev Mordovian State University, Saransk,  
e-mail: makaroff297991@gmail.com, schennikova8000@yandex.ru

The aim of the research is to develop a universal method for motion recognition, combining pixel-based and block-based approaches, capable of providing acceptable recognition results with low computational resource consumption. The algorithm proposed in this article is based on the application of local binary patterns, which allow analyzing relationships between neighboring pixels. At the initial stage, the algorithm uses the Kuwahara filter to smooth incoming video frames. To achieve the most reliable result, the algorithm is supported by additional pixel checks based on comparing pixel intensities using standard background subtraction techniques. In addition, in comparisons of local binary pattern descriptors, it is suggested to rely on the relative descriptor threshold as opposed to the absolute, leading to greater flexibility and efficiency, and introducing other improvements to enhance speed and recognition quality. The developed method is universal, allowing its use in most scenarios, including real-time mode, adapting the processing process to specific situations by adjusting the algorithm's input parameters. The presented method has been tested on a set of manually segmented video data. The test results showed that for most scenes with various negative factors hindering proper segmentation of foreground objects, the method demonstrated satisfactory results, on average outperforming other similar techniques in main recognition quality indicators.

**Keywords:** spatio-temporal algorithm, background subtraction, motion detection, Kuwahara filter, local binary patterns, similarity descriptors, relative threshold

### Введение

Задача распознавания движения на видео заключается в создании алгоритмов, которые могут обнаруживать движение на видео и предоставлять информацию об этом движении в какой-либо форме, удобной для дальнейших шагов обработки видео. Алгоритмы, решающие такую задачу, классифицируются на две группы: пиксельные [1] и блочные [2]. Пиксельные алгоритмы основаны на анализе каждого пикселя в кадре видео. Они потребляют

меньше ресурсов в процессе работы и более просты в реализации, однако менее точны и подвержены влиянию различных негативных факторов. Блочные алгоритмы работают уже с группами пикселей вместо отдельных точек и извлекают из них определенные текстурные характеристики для дальнейшей обработки. Такие методы выдают более качественные результаты, но они более ресурсоемки и не всегда подходят для обработки в режиме реального времени.

**Целью исследования** является разработка универсального метода распознавания движения, комбинирующего пиксельный и блочный подходы и способного выдавать приемлемые результаты распознавания при малом потреблении вычислительных ресурсов.

В настоящий момент разработано множество пиксельных и блочных методов, большинство из которых опираются на уже проработанные фундаментальные алгоритмы, модифицируя их под определенные ситуации или объединяя их с прочими улучшениями для достижения наилучшего результата [3].

Наиболее распространенными пиксельными алгоритмами являются методики извлечения фона, такие как смесь гауссианов (GMM) с различными улучшениями [4], ядерная оценка плотности (KDE) [5], ядерный фильтр [6], алгоритмы Vibe и Vibe+ [7] и др. Эти методы хороши для использования в режиме реального времени, но иногда приводят к большому количеству ложных срабатываний.

В области применения блочных алгоритмов в настоящий момент достаточно распространена группа методов с применением локальных бинарных шаблонов (LBP). В работе [8] авторы успешно построили статическую модель фона на основе алгоритмов самоподобия (LSS-дескрипторы) и применяли специальную метрику для классификации пиксельных блоков. На этапе постобработки использовались информация о цвете и морфологические операции для уточнения границ модели.

В работе [9] был предложен новый алгоритм, который классифицирует все пиксели на несколько кластеров на основе сходства их изменений яркости и затем для каждого кластера определяет, чем были вызваны изменения. Изменения освещенности показывают схожие изменения яркости, и алгоритм использует эту информацию для фильтрации срабатываний.

В исследовании [10] проведен сравнительный обзор алгоритмов с применением локальных бинарных шаблонов для обработки обычных изображений. Авторы представили описания различных вариантов реализации LBP-дескрипторов и проанализировали некоторые современные технологии по применяемым алгоритмам и решаемым проблемам.

В целом, вышеуказанные алгоритмы на основе локальных бинарных шаблонов решают достаточно узкие проблемы либо имеют неудовлетворительные показатели по быстродействию по сравнению с пиксельными алгоритмами, что открывает область для исследования данной проблемы.

## Материалы и методы исследования

Стандартный подход расчета LBP-дескриптора представлен в формуле (1):

$$LBP(x, y) = \sum_{p=0}^{p-1} f(i_{x,y,p}, i_{x,y}) \cdot 2^p, \quad (1)$$

где  $i_{x,y}$  – рассматриваемый пиксель (обычно центральный),  $i_{x,y,p}$  –  $p$ -й сосед центрального пикселя,  $f(i_p, i)$  – функция сравнения пикселей, возвращающая 0 или 1 при различных условиях. В данном исследовании в качестве функции сравнения предлагается использовать признак «похожести» пикселей в совокупности с заменой абсолютного порога в традиционном подходе на относительный, который зависит от интенсивности центрального пикселя  $i$ . Это позволяет улучшить работу дескриптора в большинстве случаев изменения освещенности. Для этого достаточно определить функцию, как указано в формуле (2):

$$f(i_p, i) = \begin{cases} 1, & |i_p - i| < T_{rel} \cdot i \\ 0, & |i_p - i| \geq T_{rel} \cdot i \end{cases}, \quad (2)$$

где  $T_{rel}$  – коэффициент относительного порогового значения.

Еще проблемой LBP-дескрипторов является их неустойчивость к шуму. Для подавления такой проблемы обычно используют методы сглаживания. В данном исследовании предлагается использовать фильтр Кувахара – это нелинейный оператор для сглаживания изображений, особенностью которого является сохранение границ объектов [11]. Отметим, что такой фильтр добавляет на изображения эффект мультипликационного фильма, создается ощущение, что кадр грубо нарисован красками. Такой эффект усиливается с увеличением количества повторений или увеличением размеров окна фильтра. При сильном сглаживании теряются детали на изображении, что в некоторых сценариях довольно критично. Вследствие этого фильтр Кувахара имеет ограниченную область применения, однако он как нельзя лучше подходит к задаче распознавания движения, поскольку маска объектов переднего плана не требовательна к наличию деталей изображения, но требует сохранения границ для более точной сегментации.

Однако даже с приведенными изменениями полагаться исключительно на локальные бинарные шаблоны не всегда оправдано, поскольку такие вычисления нередко приводят к ложным срабатываниям. На рисунке 1 представлен пример работы алгоритма при расчете LBP-дескриптора в отдельном блоке.

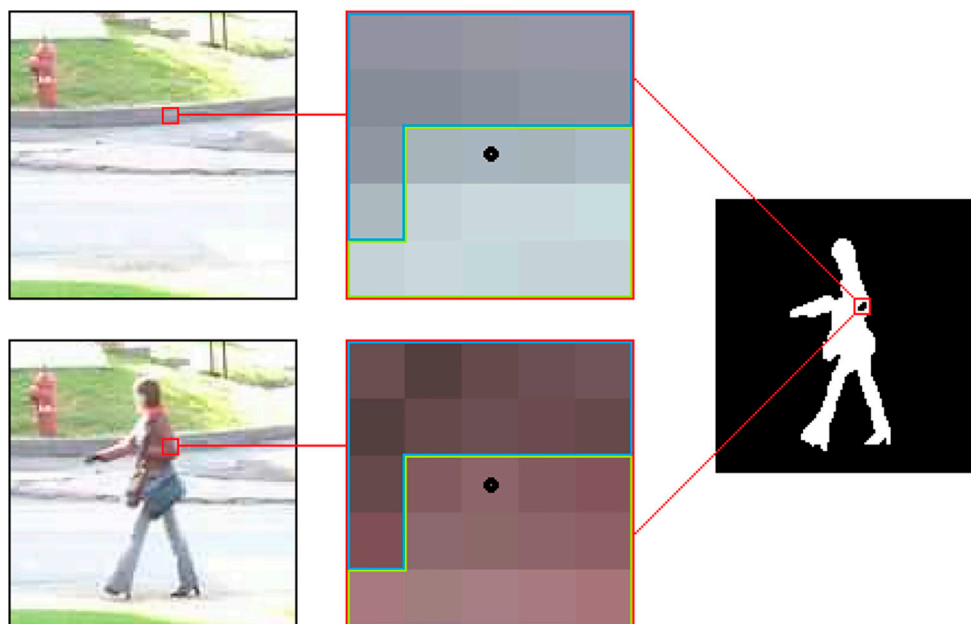


Рис. 1. Пример формирования одинаковых значений LBP-дескрипторов для фона и объекта переднего плана: сверху слева – фоновая модель, слева снизу – текущий кадр, в центре сверху – окно LBP-дескриптора для красного блока в фоновой модели, в центре снизу – окно LBP-дескриптора для соответствующего блока текущего кадра, справа – результат распознавания

Синие зоны на рисунке 1 объединяют пиксели, которые существенно отличаются от центральных пикселей (помечены черной точкой), зеленые зоны соответствуют «похожим» пикселям. При сравнении заметно, что значения LBP-дескрипторов в этой зоне будут одинаковыми, что приводит к неправильной классификации зоны на маске движения в правой части рисунка – алгоритм будет ложно классифицировать части перемещающегося объекта как фоновые, что неверно, поскольку в текущем кадре представлен двигающийся объект. Это объясняется тем, что текстурные характеристики блоков (связи между пикселями) совпадают.

Этот пример доказывает, что полагаться только на LBP-дескрипторы нежелательно, поэтому в данном исследовании предлагается объединить блочный подход со стандартными пиксельными методиками извлечения фона. Это позволит использовать преимущества обработки локального контекста пикселей при расчетах LBP-дескрипторов с дополнительными точечными проверками для фильтрации ложных срабатываний.

На рисунке 2 представлена блок-схема предлагаемого алгоритма.

Далее представлен псевдокод части алгоритма, отмеченный на рисунке 2 пунктирной линией:

```

1: function isPixelForeground(px,y)
2:   TotalDescriptorDistance = 0
3:   TotalIntensityDistance = 0
4:   for i = 1 to TotalChannelsNumber do
5:     DescriptorDistance = HammingDistance(Descriptor(px,y,c, i), Descriptor(px,y, i))
6:     If DescriptorDistance ≥ Tdesc · Intensity(px,y,c, i) · alpha
7:       return true
8:     IntensityDistance = Difference(Intensity(px,y,c, i), Intensity(px,y, i))
9:     If IntensityDistance > Tint · alpha
10:      return true
11:     TotalDescriptorDistance += DescriptorDistance
12:     TotalIntensityDistance += IntensityDistance
13:   end for
14:   return TotalDescriptorDistance > Tdesc · Intensity(px,y,c, i) or TotalIntensityDistance > Tint

```

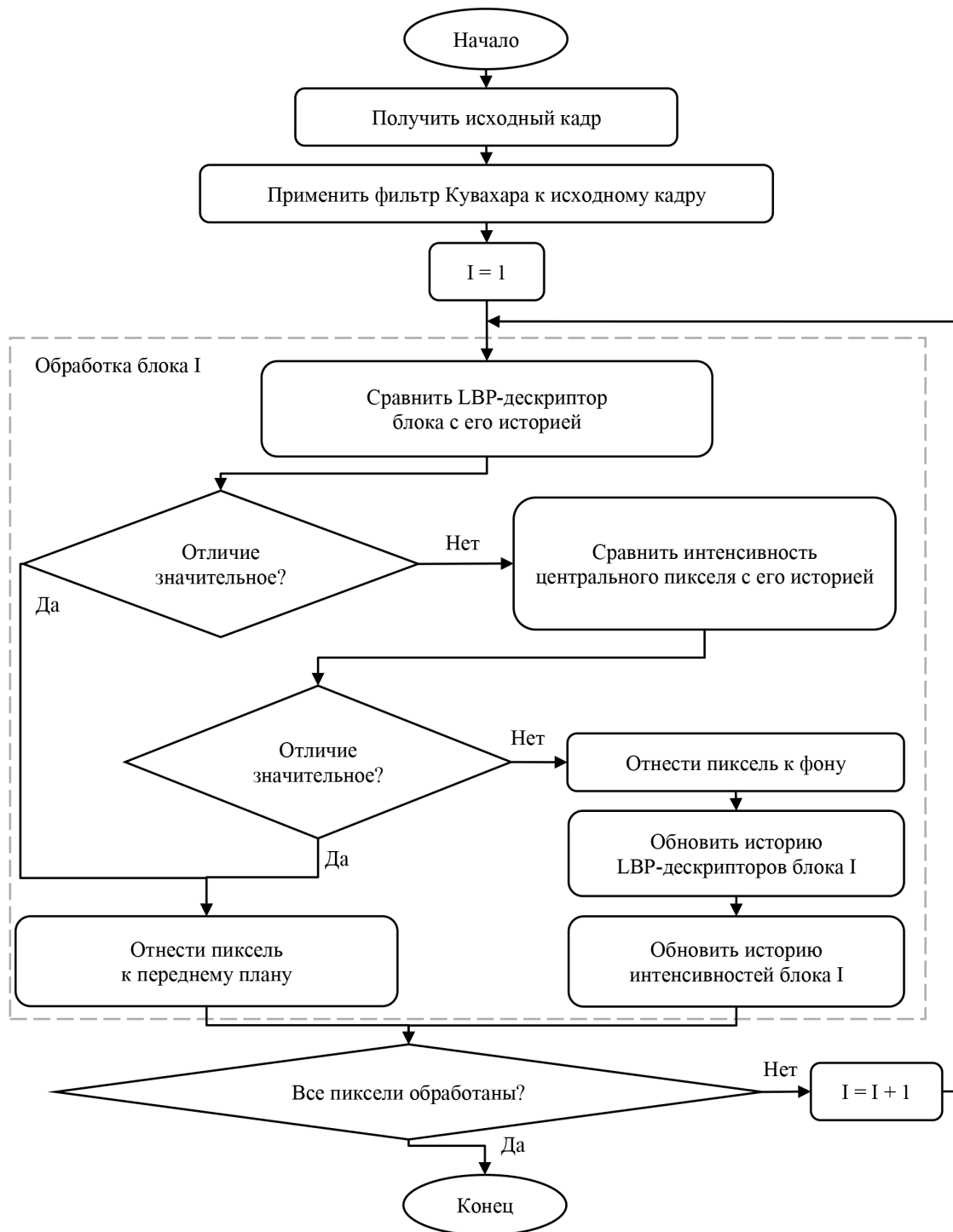


Рис. 2. Блок-схема предлагаемого алгоритма

Данный блок описывает упрощенное обнаружение изменений для сегментации изображения с дополнительной проверкой интенсивности.

Переменная `TotalChannelsNumber` – это количество цветных каналов в кадре (3 для RGB формата); `Difference` – абстракт-

ная функция определения разности между пикселями (может быть взят любой алгоритм вычитания фона в качестве реализации); `Descriptor` – функция вычисления значения дескриптора (формулы 1, 5); `HammingDistance` – функция вычисления расстояния Хэмминга.



Псевдокод описывает принятие решений при классификации рассматриваемого пикселя на основе блочной и пиксельной информации. Экономия вычислений происходит при использовании поканального сравнения – если изменения по одному из каналов в какой-то момент уже становятся существенными, дальнейшие сравнения отменяются, а пиксель относится к объекту переднего плана. Разбиение вычислений по каналам в первую очередь направлено на ускорение обработки, однако на практике выяснилось, что с помощью такого подхода алгоритм может обнаруживать незначительные изменения в рамках одного канала (например, когда темный объект перекрывается темно-синим).

В качестве алгоритма вычитания фона в этом исследовании был взят медианный фильтр, однако в зависимости от особенностей задачи и требований к производительности может быть использован любой алгоритм вычитания фона, который возвращает разность между пикселями.

#### Результаты исследования и их обсуждение

При тестировании разработанного алгоритма использовались наборы данных, которые были получены из видеокolleкций открытой онлайн базы данных Change

Detection 2014 [12]. Каждая видеозапись из этого набора уже разбита на видеокдры и вручную сегментирована для удобства сравнения ожидаемого и актуального результатов работы алгоритма. Всего было использовано 10 видеопоследовательностей из 5 различных категорий сцен, каждая из которых имеет свои проблемы и сложности. Метод тестировался на следующем универсальном наборе параметров:

- $T_{desc} = 12$ : суммарное пороговое значение для побитового сравнения значений LBP-дескрипторов на предмет обнаружения «похожести» (не имеет значения, в каких конкретно пикселях имеются различия, важно лишь общее количество несовпадений в области);

- $T_{int} = 75$ : суммарное пороговое значение для сравнения интенсивностей пикселей по всем цветовым каналам;

- $N = 15$ : размер буфера исторической информации – количество дескрипторов и интенсивностей цвета, хранящихся в виде выборок для каждого пикселя в опорной модели;

- $\alpha = 0,5$ : пороговый поправочный коэффициент, применяемый к  $T_{desc}$  и  $T_{int}$  для поканального сравнения;

- $T_{rel} = 0,365$ : коэффициент относительного порога LBP-дескриптора.

Примеры работы алгоритма для некоторых видеозаписей показаны на рисунке 3.



Рис. 3. Результаты работы предложенного метода: слева – оригинальные кадры; в центре – идеальные результаты распознавания, приближенные к реальности; справа – результаты работы алгоритма

Таблица 1

Показатели точности распознавания предлагаемого алгоритма

Категория видеозаписей	Prc	Rcl	PCC	F-балл
PETS 2006	0,84	0,89	99,2	0,86
Обычные видеозаписи	0,83	0,86	99,1	0,84
Динамический фон	0,66	0,70	96,9	0,68
Прерывистое движение объектов	0,79	0,79	98,3	0,79
Тень	0,76	0,76	96,6	0,76
Итого	0,78	0,80	98,0	0,79

Таблица 2

Показатели точности распознавания современных методов извлечения фона

Метод	Prc	Rcl	PCC	F-балл
Предлагаемый	0,78	0,80	98,0	0,79
ViVe+	0,67	0,81	98,9	0,73
ViVe	0,66	0,71	98,2	0,68
KDE	0,68	0,65	96,5	0,67
GMM	0,65	0,63	95,6	0,64
Медианный фильтр	0,59	0,47	91,2	0,52

Для оценки точности алгоритма учитывались распространенные показатели компьютерного зрения: точность (Prc), чувствительность (Rcl), процент корректных классификаций (PCC) и F-балл [3, 13]. В таблице 1 представлена полная информация о характеристиках предлагаемого алгоритма применительно ко всем пяти категориям видеопоследовательностей наряду с усредненными итоговыми значениями.

Наилучшие значения наблюдаются в категориях «PETS 2006» и «Обычные видеозаписи», что объясняется стабильностью фона и простотой моделирования сцен в этих видеозаписях. Наихудшие показатели алгоритм продемонстрировал на видеозаписях категории «Динамический фон». Видеозаписи из этой группы содержат колебания фона, что приводит к большому числу ложных срабатываний. Однако именно для этой категории применение фильтра Кувахаха показало наилучший прирост качества распознавания.

На практике выяснилось, что применение только одного из предложенных улучшений (фильтр Кувахаха, относительное пороговое значение, дополнительные пиксельные проверки) сказывается на общей эффективности алгоритма незначительно и иногда даже ухудшает показатели для некоторых видеозаписей, поэтому рекомендуется использовать все улучшения одновременно.

Например, при связке фильтра Кувахаха с LBP-дескрипторами успешно обрабатываются проблемы теней и изменения освещения, когда соответствующие зоны в кадре изменяются равномерно. Относительность значений интенсивностей между соседними пикселями в таких блоках сохраняется, поэтому медленные и нерезкие изменения фона между кадрами успешно отфильтровываются, не приводя к ложным срабатываниям.

В таблице 2 представлено сравнение показателей точности распознавания предлагаемого метода с основными современными методиками для решения подобных задач применительно к тем же наборам видеозаписей. Данные в таблице 2 отсортированы по убыванию F-балла.

В таблице 3 продемонстрировано сравнение тех же алгоритмов по потреблению вычислительных ресурсов на основе двух показателей: по среднему количеству обработанных в секунду кадров (FPS) и по среднему потреблению оперативной памяти в МБ. Каждая строка таблицы 3 соответствует одной из рассмотренных видеопоследовательностей.

Согласно результатам, представленным в таблицах 2 и 3, в среднем предлагаемый метод обрабатывает лучше, чем другие современные алгоритмы по большинству показателей точности, и демонстрирует хорошее качество распознавания.

Таблица 3

Показатели потребления вычислительных ресурсов современных методов извлечения фона

№	Предлагаемый		Vibe+		Vibe		KDE		GMM		Медианный фильтр	
	FPS	Память	FPS	Память	FPS	Память	FPS	Память	FPS	Память	FPS	Память
1	29,3	416	34,2	309	38,4	215	47,0	350	60,1	52	67,2	47
2	44,0	89	50,7	42	56,3	25	60,4	67	80,2	13	90,2	9
3	51,3	92	55,7	48	61,4	51	65,1	81	82,4	19	93,3	13
4	44,7	40	59,4	47	62,2	35	71,8	78	81,7	17	92,3	14
5	29,0	364	35,0	105	40,4	115	51,2	292	67,1	35	70,3	27
6	45,7	38	61,1	30	63,7	24	71,2	85	78,4	16	85,4	10
7	44,4	149	51,2	86	48,8	88	55,4	113	71,2	24	75,3	19
8	48,2	39	62,7	36	60,7	25	74,3	92	82,6	11	92,2	9
9	42,5	41	52,4	39	61,8	26	66,6	74	81,1	13	93,1	8
10	42,5	43	50,3	36	57,3	25	68,4	82	81,6	14	92,1	9

Однако качество работы компенсируется скоростью – в среднем, алгоритм работает немного медленнее аналогов и потребляет больше памяти из-за введения дополнительных шагов по фильтрации и операциям сравнения, а также ведения дополнительной истории LBP-дескрипторов. Более подробно результаты тестирования представлены в протоколах испытаний в репозитории GitHub [14].

### Заключение

В этой статье был представлен новый эффективный метод улучшения пространственно-временных алгоритмов вычитания фона, который позволяет существенно повысить качество распознавания при сравнительно небольших вычислительных затратах. Улучшение основано на одновременном применении нескольких модификаций.

Во-первых, это введение фильтра Куваха в качестве первого этапа предварительной обработки видеок кадров, что позволяет сглаживать изображения с одновременным сохранением границ. Потеря мелких деталей вследствие подобной фильтрации практически не оказывает влияния на итоговую сегментацию объектов переднего плана. Напротив, особенности такого фильтра добавляют на изображение «эффект рисунка», тем самым равномерно закрашивая однородные области, без размывания контуров объектов, что позволяет сохранить локальную контекстную информацию, используемую на последующих шагах.

Во-вторых, это введение локальных бинарных шаблонов в алгоритм распознавания,

что позволяет учитывать пространственные связи между соседними пикселями. В данном исследовании вместо стандартного подхода с разностью интенсивностей пикселей использовались двоичные дескрипторы подобия, определяющие степень «похожести» блоков друг на друга. Дополнительно было предложено использовать не абсолютный порог сравнения интенсивностей пикселей, а относительный, значение которого в каждом кадре зависит от интенсивности центрального пикселя рассматриваемого блока. Также предлагаемая методика предполагает отказ от применения сложных вычислений при сравнении интенсивностей пикселей. Каскад вычислений может быть значительно упрощен последовательным поканальным вычислением с ранним завершением цикла проверок, если локальной информации становится достаточно для классификации рассматриваемого пикселя на основе порога для сравнения по отдельному каналу.

В процессе тестирования было отмечено, что использование только одной из этих модификаций улучшает качество распознавания несущественно, в то время как одновременное применение нововведений в рамках максимальной конфигурации алгоритма позволяет достичь значительного прироста показателей эффективности алгоритма. Это объясняется тем, что комбинация фильтра Куваха и LBP-дескриптора взаимно компенсирует недостатки этих методик. Дополнительно было замечено, что в связи с особенностями реализации алгоритм успешно справляется с некоторыми негативными факторами распознавания, такими как из-

менение освещенности сцены, наличие теней и медленно перемещающихся объектов, а также точечные всплески интенсивности пикселей вследствие высокочастотных колебаний фона.

По результатам тестирования был сделан вывод о том, что качество распознавания предложенного алгоритма выше, чем у других современных методов по извлечению фона. В дальнейшем можно интегрировать предложенный метод с другими современными алгоритмами для получения более оптимальных результатов, например для сцен с динамическим фоном. Также в качестве улучшений в будущих исследованиях планируется оптимизировать потребление вычислительных ресурсов.

### Список литературы

1. Kulkarni V., Pol T., Mapari S. Comparative Study of Background Subtraction Algorithm for Moving Object Detection using OpenCV // *Journal of Harbin Engineering University*. 2024. Vol. 45, Is. 4. P. 318-327.
2. Fauzi N., Musa Z., Hujainah F. Feature-Based Object Detection and Tracking: A Systematic Literature Review // *International Journal of Image and Graphics*. 2023. Vol. 24, Is. 3. DOI: 10.1142/S0219467824500372.
3. Макаров О.С., Щенникова Е.В. Анализ алгоритмов вычитания фона // *International Conference on Business Economics, Management, Engineering Technology, Medical and Health Sciences*. 2021. С. 65–77.
4. Rakesh S., Nagaratna P.H., Gopalachari M.V., Jayaram D., Madhu B., Hameed M.A., Vankdothu R., Suresh Kumar L.K. Moving object detection using modified GMM based background subtraction // *Measurement: Sensors*. 2023. Vol. 30. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665917423002349> DOI: 10.1016/j.measen.2023.100898. <https://doi.org/10.5565/REV%2FELCVIA.855>
5. Węglarczyk S. Kernel density estimation and its application // *ITM Web of Conferences*. 2018. Vol. 23. URL: [https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2018/08/itmconf\\_sam2018\\_00037.pdf](https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2018/08/itmconf_sam2018_00037.pdf) DOI: 10.1051/itmconf/20182300037.
6. Shah A., Bangash J., Khan A., Ahmed I., Khan A., Khan A., Khan A. Comparative analysis of median filter and its variants for removal of impulse noise from gray scale images // *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. 2022. Vol. 34, Is. 3. P. 505-519. DOI: 10.1016/j.jksuci.2020.03.007.
7. Bou X., Ehret T., Facciolo G., Morel J.-M., Grompone R. Reviewing ViBe, a Popular Background Subtraction Algorithm for Real-Time Applications // *Image Processing On Line*. 2022. Vol. 12. P. 527-549. DOI: 10.5201/ipol.2022.434.
8. Jodoin J.P., Bilodeau G.A., Saunier N. Background subtraction based on Local Shape // *arXiv*. 2012. URL: <https://arxiv.org/pdf/1204.6326>. DOI: 10.48550/arXiv.1204.6326.
9. Yoshinaga, S., Shimada A., Nagahara H., Taniguchi R. Background model based on intensity change similarity among pixels // *FCV 2013 – Proceedings of the 19th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision*. 2013. P. 276-280. DOI: 10.1109/FCV.2013.6485504.
10. Khaleefah S., Mostafa S., Mustapha A., Nasrudin M. Review of local binary pattern operators in image feature extraction // *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2020. Vol. 19, Is. 1. P. 23-31. DOI: 10.11591/ijeecs.v19.i1.
11. Le H., Tran G. Free-size accelerated Kuwahara filter // *Journal of Real-Time Image Processing*. 2021. Vol. 18, Is. 4. P. 2049-2062. DOI: 10.1007/s11554-021-01081-3.
12. Change Detection 2014 – база данных для тестирования алгоритмов распознавания движения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/maamri95/cdnet2014> (дата обращения: 12.10.2024).
13. Щенникова Е.В., Макаров О.С. Метод извлечения фона с использованием фильтра второй производной // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2022. № 4(60). С. 42-51. DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-0006.
14. Протоколы испытаний рассмотренных алгоритмов [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/bajitumor/LBP-Algorithm-Tests> (дата обращения: 12.10.2024).

УДК 004.89  
DOI

## КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ИТ-ПРОЕКТОВ

Надеждин Е.Н., Тихонов М.А.

*ФГАОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет»,  
Москва, e-mail: en-hope@yandex.ru, Tikhonov.99@yandex.ru*

Целью исследования является обоснование концепции прототипа интеллектуальной информационной системы, предназначенной для информационно-аналитической поддержки решения задач экспертной оценки и выбора предпочтительного ИТ-проекта на конечном множестве альтернатив. В контексте общей проблемы прогнозирования научно-технологического развития России и анализа показателей технико-экономической эффективности инноваций в области нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий показана роль инструментальных средств информационной поддержки экспертизы конкурсных ИТ-проектов. В основу предложенной авторами концепции интеллектуальной информационной системы положена клиент-серверная архитектура, отвечающая современным требованиям к перспективным системам поддержки принятия решений. На основе разработанной функциональной модели предметной области, представленной в нотации IDEF0, обоснован функционал прототипа интеллектуальной информационной системы. Определены структура и компонентный состав ее математического обеспечения с учетом особенностей задачи комплексной оценки конкурирующих ИТ-проектов по совокупности показателей эффективности. В информационной системе предлагается реализовать авторскую методику, использующую метод экспертных оценок, метод парного сравнения вариантов и алгоритмы относительной оценки и ранжирования ИТ-проектов по интегрированному показателю эффективности в виде линейной свертки взвешенных частных показателей. Разработка и практическое использование интеллектуальной информационной системы позволят сократить сроки и повысить объективность результатов экспертизы инновационных ИТ-проектов.

**Ключевые слова:** ИТ-проект, эффективность проекта, комплексная оценка, ранжирование, интеллектуальная информационная система, интегрированный показатель, свертка частных показателей

*Работа выполнена в рамках проекта Российского государственного гуманитарного университета (Москва) «Информационно-аналитическая система для автоматизированного управления роем беспилотных летательных аппаратов специального назначения» (конкурс «Студенческие проектные научные коллективы Российского государственного гуманитарного университета»).*

## THE CONCEPT OF AN INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF INNOVATIVE IT PROJECTS

Nadezhdin E.N., Tikhonov M.A.

*Russian State University for the Humanities, Moscow,  
e-mail: en-hope@yandex.ru, Tikhonov.99@yandex.ru*

The aim of the article is to substantiate the concept of a prototype of an intelligent information system designed for information and analytical support for solving problems of expert assessment and choosing a preferred IT project on a finite set of alternatives. In the context of the general problem of forecasting the scientific and technological development of Russia and the analysis of indicators of technical and economic efficiency of innovations in the field of nano-, bio-, info- and cognitive technologies, the role of instrumental means of information support for the examination of competitive IT projects is shown. The concept of an intelligent information system proposed by the authors is based on a client-server architecture that meets modern requirements for promising decision support systems. Based on the developed functional model of the subject area, presented in the IDEF0 notation, the functionality of the prototype of an intelligent information system is substantiated. The structure is determined and the component composition of its mathematical support is determined taking into account the specifics of the problem of a comprehensive assessment of competing IT projects based on a set of performance indicators. The information system proposes to implement the author's methodology using the method of expert assessments, the method of paired comparison of options and algorithms for relative assessment and ranking of IT projects by an integrated performance indicator in the form of a linear convolution of weighted private indicators. The development and practical use of the intelligent information system will reduce the time and increase the objectivity of the results of the examination of innovative IT projects.

**Keywords:** IT project, project efficiency, comprehensive assessment, ranking, intelligent information system, integrated indicator, summary of partial indicators

*The work was carried out within the framework of the project of the Russian State University for the Humanities (Moscow) “Information and analytical system for automated control of a swarm of special-purpose unmanned aerial vehicles” (competition “Student project research teams of the Russian State University for the Humanities”).*

### Введение

Одним из характерных проявлений достижений научно-технической революции на этапе становления информационного общества является быстрое внедрение информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) во все сферы нашей жизни. Высокие темпы социально-экономического развития России стимулируют повышенный общественный спрос на инновационные проекты в области информационных технологий (*далее* – ИТ-проекты), которые отвечают приоритетным задачам Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Сегодня предпочтение отдается ИТ-проектам, которые в наибольшей степени удовлетворяют известным требованиям к перспективным информационным системам (конкурентоспособность, универсальность, масштабируемость, переносимость, адаптивность и др.), обладают высокой функциональностью при относительно низкой себестоимости и способны существенно повысить эффективность управления экономическими, социальными, технологическими и бизнес-процессами.

Современный ИТ-проект представляет собой универсальный наукоемкий продукт с большой добавочной стоимостью и является выгодным объектом для потенциальных инвестиций [1]. Уникальность ИТ-проектов проявляется, прежде всего, в их проблемной ориентации, в использовании гибкой архитектуры, в интеграции доступных информационных ресурсов и реализации математических методов и моделей, основанных на новейших достижениях в области ИКТ, прикладной информатики и искусственного интеллекта.

Создание конкурентоспособных отечественных ИТ-проектов связано с существенными затратами финансовых, интеллектуальных, информационных, вычислительных и других ресурсов и требует привлечения большого коллектива высококвалифицированных разработчиков, обладающих междисциплинарными профессиональными компетенциями [2]. В интересах преодоления актуальных научно-технических, социальных, гуманитарных и иных проблем одновременно разрабатываются несколько ИТ-проектов. Фирмы – разработчики прикладных ИКТ и ИТ-проектов участвуют в кастинге и представляют свои продукты и технические решения потенциальному заказчику (инвестору). Выбор предпочтительного ИТ-проекта на конечном множестве альтернативных вариантов неизбежно связан выполнением большого объема информационно-аналитических и экспертных работ, ориентированных

на сравнительный анализ ИТ-проектов по совокупности разнородных показателей эффективности. Возникает нетривиальная научно-техническая задача многокритериальной сравнительной оценки эффективности конкурирующих ИТ-проектов, которая в настоящее время не имеет стандартного решения [3].

Для количественной оценки и анализа проектов и инноваций в сфере ИКТ наряду с традиционными методами и инструментальными средствами системного анализа и исследования операций применяют методы теории полезности [3, с. 54], методы экономического анализа [4], методы экспертных оценок [5, 6], методы теории игр. В последние годы для прогнозирования системных показателей технико-экономической эффективности ИТ-проектов привлекаются методы и модели искусственного интеллекта [7]. Однако по-прежнему актуальной является задача создания специализированных информационных систем поддержки интеллектуальной деятельности специалистов, связанной с многокритериальным анализом и выбором перспективных проектных решений.

**Целью исследования** является обоснование концепции прототипа интеллектуальной информационной системы (ИИС), предназначенной для информационно-аналитической поддержки решения задач экспертной оценки и выбора предпочтительного ИТ-проекта на конечном множестве альтернатив.

### Материалы и методы исследования

В процессе исследования предполагается, что конкурирующие (альтернативные) ИТ-проекты ориентированы на решение одной априорно известной проблемы и отвечают специфике заданной предметной области. В интересах конкретизации предметной области и структуризации проблемы выбора укажем, что в настоящей работе предметом исследования является задача комплексной оценки и ранжирования (по интегрированному показателю эффективности) конечного набора конкурирующих ИТ-проектов. Для корректности формального представления задачи выбора и создания предпосылок для проведения объективной экспертизы будем также полагать, что все представленные на конкурс ИТ-проекты относятся к гуманитарной сфере и каждый из проектов имеет полный набор унифицированной технической документации, в частности: заявку (на конкурс) установленного формата и полное техническое описание. Дополнительно авторы приняли условие, что конкурирующие проекты

отвечают общим системным требованиям единого технического задания (ТЗ). Указанное допущение определяет возможность для введения фиксированного подмножества частных показателей технико-экономической эффективности и унифицированной шкалы их оценки, что облегчает формализацию базовых процедур регистрации и обработки экспертных оценок и способствует повышению объективности результатов сравнительной оценки альтернатив.

Математическую постановку задачи выбора предпочтительного варианта ИТ-проекта можно представить как модель задачи дискретной оптимизации.

Пусть требуется определить:

$$x^* = \arg \max_{x \in D_x} F(x)$$

при условиях  $\sum C \in C_x, H \cdot x \langle B, x \rangle 0$ . (1)

Здесь  $x^T = (x_1, \dots, x_s)$  – вектор управляемых системных переменных, характеризующих конкретное техническое решение;  $H$  – матрица коэффициентов;  $B$  – вектор граничных условий;  $F^T = (F_1, \dots, F_n)$  – векторный показатель эффективности;  $C$  – потребляемые ресурсы;  $C_x$  – выделяемые ресурсы;  $D_x$  – область допустимых значений управляемых параметров.

В соответствии с математической моделью (1), задача выбора предпочтительного проекта заключается в нахождении такого множества допустимых параметров  $x^* = (x_1^*, \dots, x_s^*)$  базового ИТ-проекта, при которых обеспечивается наибольший интегральный эффект  $\max F(x)$  от практической реализации при ограничениях, накладываемых на используемые ресурсы  $C(x)$ . В рассматриваемой задаче необходимо сравнить конкурирующие ИТ-проекты между собой и с заданным опорным вариантом (проектом-прототипом) по интегральному показателю эффективности, представленному в виде свертки взвешенных частных показателей, и затем выполнить их ранжирование.

На практике модель задачи (1) не отвечает традиционной схеме конкурсного отбора и сравнительного анализа конкурирующих проектов. Уникальность реализованных и/или заявленных программно-аппаратных решений и вариативность управляемых параметров ИТ-проектов во многих случаях не позволяют свести исходную задачу выбора к численному решению тривиальной экстремальной задачи [3].

Предлагаемая авторами методика прогностической комплексной оценки и ранжирования конкурирующих ИТ-проектов

представляет собой способ реализации эвристического подхода к проблеме сравнительной оценки альтернатив, разработанного с учетом рекомендаций современной теории принятия решений в условиях многокритериальности [8]. Для преодоления математических трудностей, обусловленных учетом множества частных показателей эффективности, выбором шкалы их оценивания и неопределенностью исходных данных, авторы использовали методический подход, объединяющий метод экспертных оценок, метод парного сравнения вариантов и алгоритм скалярной свертки векторного показателя эффективности [9]. В целях снижения инструментальных ошибок в ходе решения задачи авторами реализована итерационная схема расчета весовых коэффициентов частных показателей [6].

Авторы рассматривают клиент-серверную модель архитектуры ИИС, в которой пользовательский интерфейс находится на рабочей станции, а ядро математического и программного обеспечения ИИС размещается на сервере корпоративной информационной сети. Отметим, что преобразование исходной информации и приобретенных знаний осуществляется через выполнение цепочки логически связанных процедур регистрации, предобработки и аналитического анализа экспертных оценок. В результате этих действий определяются веса частных показателей эффективности, и ИТ-проекты оцениваются на основе интегрированного показателя. Последующее ранжирование и формирование итогового отчета и рекомендаций осуществляются с привлечением сетевых информационных ресурсов в режиме интерактивного диалога с координатором конкурса.

Для обоснования функционала и структуры прототипа ИИС воспользуемся известными рекомендациями технологии функционального моделирования информационных систем с использованием диаграмм IDEF0 [10, с. 25].

На рисунке 1 показана контекстная диаграмма функциональной модели ИИС поддержки процесса комплексной оценки и ранжирования ИТ-проектов в нотации IDEF0.

При автоматизированном решении задачи выбора авторы выделяют категории исходных данных (рис. 1):

- 1) запрос на решение задачи комплексной экспертной оценки ИТ-проектов;
- 2) комплект технической документации по всем ИТ-проектам, представленной в унифицированном формате;
- 3) экспертные оценки, полученные при независимом опросе экспертов по схеме парного сравнения вариантов.

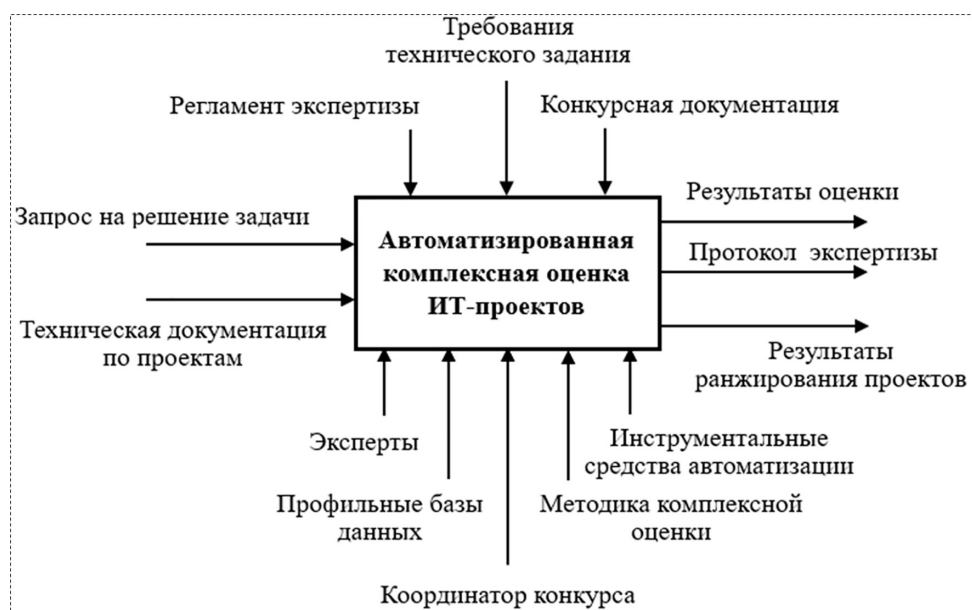


Рис. 1. Контекстная диаграмма функциональной модели ИИС

Выходными данными работы ИИС являются (рис. 1):

- 1) результаты (комплексной) оценки ИТ-проектов (по интегральному показателю);
- 2) результаты ранжирования (ИТ-проектов);
- 3) итоговый протокол экспертизы;
- 4) рекомендации.

Методологическую основу разработки ИИС как сложной человеко-машинной системы составляют базовые положения системного подхода. В соответствии с известными принципами системного подхода, авторская методика комплексной оценки и ранжирования ИТ-проектов включает следующие действия [8]:

- 1) анализ и декомпозицию предметной области в виде множества информационно связанных вычислительных и аналитических задач;
- 2) определение целевого назначения ИИС, обоснование обобщенного (интегрального) показателя и совокупности частных показателей ее эффективности;
- 3) совместное применение вычислительных и эвристических подходов, алгоритмов и процедур при определении оценки обобщенного (интегрального) показателя эффективности проекта;
- 4) привлечение экспертов для считывания в режиме диалога индивидуальных оценок и заполнения (обновления) базы знаний предметной области;
- 5) контроль со стороны координатора (администратора) конкурса проектов;
- 6) доступ к внешним информационным ресурсам и библиотекам, включая базу стан-

дартов, ГОСТов и других нормативных документов, базу патентных материалов и т.п.;

- 7) реализацию апробированной методики комплексной оценки ИТ-проектов и инструментальных средств автоматизации (процедур преобразования информации, расчетов и моделирования).

На рисунке 2 представлена IDEF0-диаграмма 1-го уровня, отражающая декомпозицию контекстной диаграммы функциональной модели прототипа ИИС.

Ядро функционала прототипа ИИС составляют следующие задачи:

- подбор прототипа и отбор (множества) частных показателей (ЧП) эффективности;
- сравнение частных показателей и расчет их весовых коэффициентов;
- формирование рабочей выборки (подмножества) из состава элементов исходного множества ИТ-проектов;
- итерационная оценка частных показателей (эффективности);
- оценка интегрированного показателя (в виде скалярной свертки ЧП);
- ранжирование проектов (рабочей) выборки;
- документирование результатов (комплексной) экспертизы.

В интересах увеличения универсальности и расширения функциональных возможностей ИИС в ее структуре реализованы следующие инновационные идеи:

- использование в качестве опорного варианта (прототипа) ИТ-проекта реально существующей информационной системы аналогичного назначения с высокими технико-экономическими характеристиками;



- независимый опрос экспертов (по принципу парного сравнения вариантов) с последующим представлением качественных оценок в цифровом формате;

- итерационный подход к расчету весовых коэффициентов частных показателей эффективности ИТ-проектов;

- гибкая схема сравнительной оценки и ранжирования исходного множества ИТ-проектов на основе реализации процедуры формирования и обновления (в процессе перебора) подмножества (рабочей выборки) доминирующих проектных решений [6].

На рисунке 3 показана укрупненная структура прототипа ИИС, которая включает: базу данных, базу знаний, интерпретатор знаний, блок предобработки, блок комплексной оценки (эффективности ИТ-проекта), блок ранжирования проектов и интеллектуальный пользовательский интерфейс.

База данных обеспечивает хранение и обновление структурированных данных,

необходимых для поддержки функционирования интеллектуальной информационной системы.

База знаний выступает в качестве хранилища актуальных знаний предметной области, включая специальные знания, полученные при опросе экспертов.

Интерпретатор знаний поддерживает процедуры форматирования, нормирования и цифровизации качественных оценок, полученных от экспертов.

Блок предобработки обеспечивает реализацию итерационной процедуры расчета весовых коэффициентов частных показателей эффективности (ПЭ) на основе статистической обработки полученных экспертных оценок.

В блоке комплексной оценки осуществляется алгоритм вычисления интегрированного показателя эффективности ИТ-проекта как скалярной свертки взвешенных частных показателей эффективности.

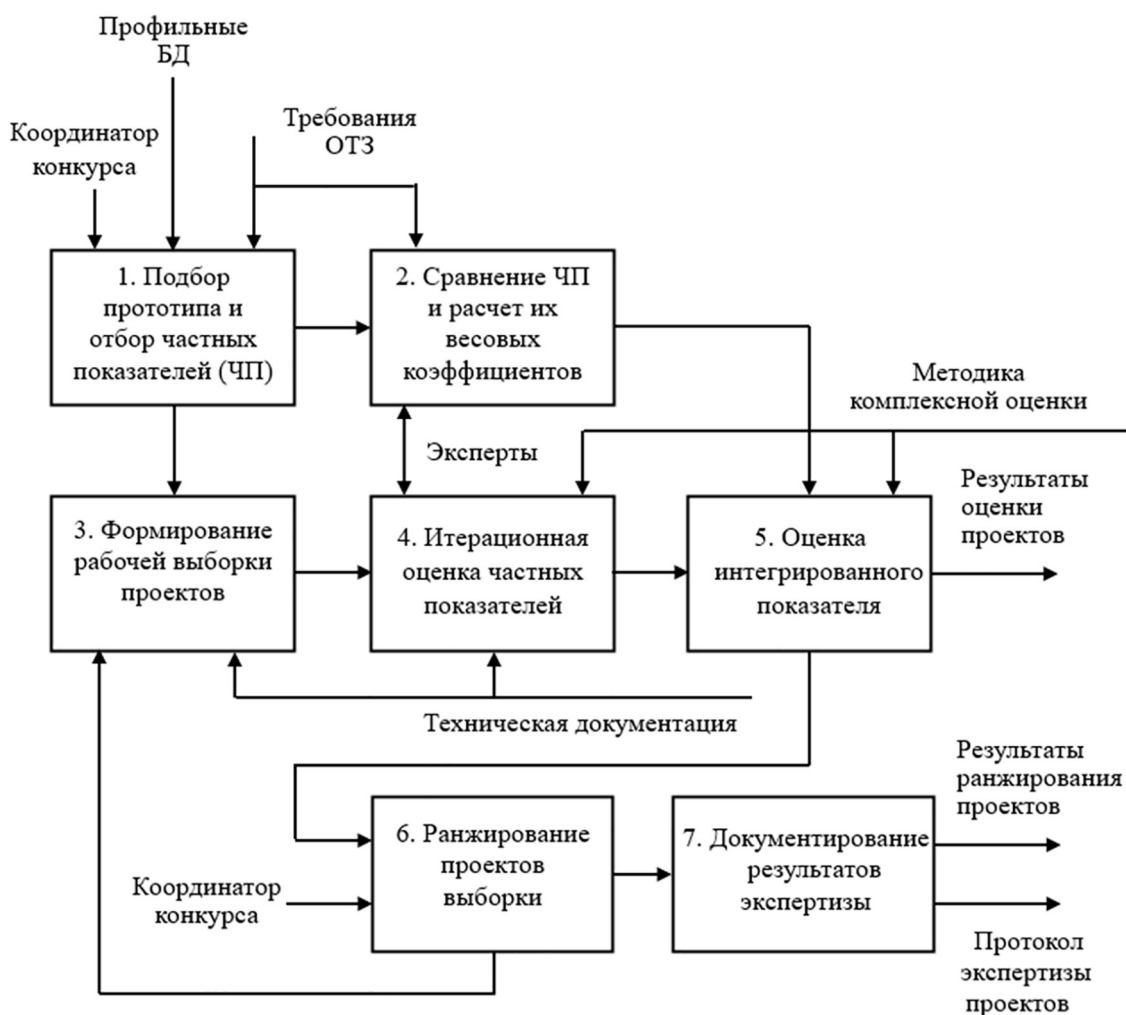


Рис. 2. Декомпозиция функциональной модели ИИС в виде IDEF0-диаграммы 1-го уровня

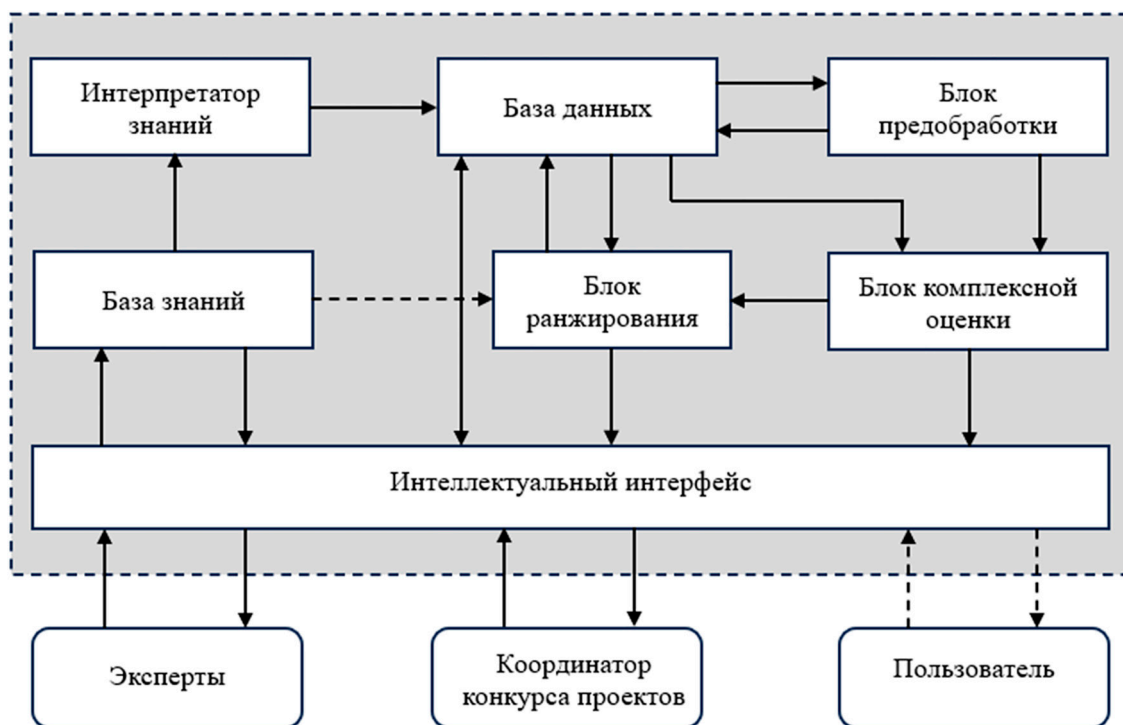


Рис. 3. Укрупненная структура интеллектуальной информационной системы

Блок ранжирования реализует алгоритм ранжирования по интегрированному показателю эффективности ИТ-проектов, представленных в рабочей выборке, и возвращает результаты их оценки в базу данных. Отметим, что в логике процедуры ранжирования предусмотрена возможность учета предпочтений координатора конкурса проектов (указанная связь блока ранжирования с базой знаний показана пунктирной линией).

Интеллектуальный пользовательский интерфейс обеспечивает сетевое взаимодействие пользователей и связь ИИС с внешними базами данных, функционально поддерживает в рамках априорно заданных прав ролевую модель работы трех групп пользователей: экспертов, координатора (администратора) конкурса проектов и собственно потенциальных пользователей (например, разработчиков ИТ-проектов). Дополнительными функциями интеллектуального интерфейса являются защита информационных ресурсов ИИС от несанкционированного доступа, визуализация и документирование результатов на всех стадиях комплексной оценки ИТ-проектов.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Практическая значимость предлагаемой ИИС определяется сокращением сроков

и повышением уровня объективности прогностической комплексной оценки эффективности конкурсных ИТ-проектов, а также возможностью достижения гарантированной точности определения их рангов относительно заданного опорного варианта информационной системы.

Количество сравниваемых ИТ-проектов на основе применения ИИС не регламентируется. Однако на практике рекомендуется сопоставлять число ИТ-проектов от 3 до 15, что обусловлено особенностями реализованной итерационной схемы формирования рабочего множества вариантов и удобством интерпретации полученных результатов. Количество привлекаемых экспертов желательно выбирать нечетным в диапазоне 3...9. Число частных показателей эффективности, формирующих интегрированный показатель эффективности проекта (в виде взвешенной суммы частных показателей), рекомендуется выбирать в диапазоне 3...8.

Используемые модели, алгоритмы и процедуры, составляющие основу математического и алгоритмического обеспечения прототипа ИИС, многократно проверены на основе численного решения прикладных задач выбора вариантов в различных предметных областях: в образовании, в здравоохранении, в радиоэлектронике. Промежуточные результаты выполненного исследования и варианты реализации прототипа

ИИС апробированы в научных дискуссиях на профильных научно-технических конференциях и опубликованы в рецензируемых научных изданиях [6, 8].

### Выводы

Предлагаемый проект прототипа ИИС информационно-аналитической поддержки решения задач комплексной экспертной оценки и ранжирования альтернативных ИТ-проектов обладает необходимым функционалом и имеет существенный инновационный потенциал для последующей модификации. Базовые компоненты математического и программного обеспечения прототипа ИИС выполнены на алгоритмических языках высокого уровня, успешно прошли тестирование и отвечают типовым требованиям, предъявляемым к современным информационным системам и их подсистемам (модульная организация, переносимость, масштабируемость, адаптивность и др.). Реализация предложенной авторами концепции с учетом полученного в ходе настоящего исследования научно-технического задела позволит создать рабочую версию ИИС, практическое использование которой даст возможность сократить сроки и повысить качество проведения комплексной экспертизы представленных на конкурс инновационных ИТ-проектов.

### Список литературы

1. Николаенко В.С. Превентивный риск-менеджмент в ИТ-проектах // Государственное управление. 2016. № 55. С. 27-42.
2. Надеждин Е.Н., Шаранов Д.А., Шабалин О.В., Игнатенко И.А. К проблеме обеспечения конкурентоспособности программных продуктов отечественного производства // Известия Института инженерной физики. 2019. № 2. С. 43-47.
3. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. М.: Радио и связь, 1984. 288 с.
4. Краузе Р.П. Исследование методических подходов к оценке эффективности ИТ-проектов на предприятиях // Бизнес-образование в экономике знаний. 2020. № 3. С. 87-92.
5. Данелян Т.Я. Формальные методы экспертных оценок // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2015. № 1. С. 183-187.
6. Надеждин Е.Н., Забелин Д.А. Экспертная оценка и ранжирование конкурирующих проектов информационно-коммуникационных систем // Известия Тульского государственного университета. Серия: Технические науки. 2016. № 4. С. 29-37.
7. Шиянов А.Д. Оценка эффективности ИТ-проектов с использованием технологий машинного обучения // Вестник науки. 2019. № 6 (15). С. 56-62.
8. Надеждин Е.Н., Забелин Д.А. Методика многокритериальной экспертной оценки и ранжирования конкурирующих проектов // Eurasian Union of Scientis. 2014. № 8. (Технические науки). Часть 8. С. 85-89.
9. Джабраилова З.Г., Нобари С.Р. Метод многокритериального ранжирования для решения задач управления персоналом // Искусственный интеллект. 2009. № 4. С. 130-137.
10. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум. М.: Финансы и статистика, 2006. 192 с.

УДК 51-74  
DOI

## ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОКА ПОСЕТИТЕЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Наумова Н.А., Коваленко Ю.С.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар,  
e-mail: Nataly\_Naumova@mail.ru

Целью исследования является разработка численных методов моделирования потока посетителей при проведении массовых мероприятий. Актуальной задачей является разработка теоретически обоснованных подходов выбора технических решений по установке контрольно-пропускных систем при проведении массовых мероприятий. Моделью прохода прибывающих посетителей через турникет является многоканальная система массового обслуживания с неограниченной очередью. Поток заявок не является стационарным в данном случае. Для моделирования системы массового обслуживания с переменной интенсивностью входящих потоков применяется аппроксимация интенсивности входящего потока с помощью кусочно-непрерывных функций. В этом случае можно представить работу нестационарной системы как последовательную работу стационарных, каждая из которых подключается в тот момент, когда окончена работа предыдущей. Изменяться будут начальные условия, то есть значения вероятностей пребывания системы в определенном состоянии. Время обслуживания можно считать распределенным по показательному закону, распределение интервалов по времени между заявками во входящем потоке – по закону Эрланга. С помощью метода псевдосостояний составлена система дифференциальных уравнений для вероятностей состояний. Предложены методы вычисления характеристик качества функционирования системы с помощью кусочно-непрерывной функции. В силу большой размерности системы возможно только численное ее решение. Приведены методы численного и численно-аналитического решения задачи нахождения вероятностей состояний. Для эффективного использования контрольно-пропускной системы необходимо установить соответствие между параметрами системы и характеристиками пешеходного потока. Один из методов, который позволяет это сделать, приведен в работе.

**Ключевые слова:** пешеходный поток, массовое мероприятие, математическая модель, система массового обслуживания

## NUMERICAL METHODS FOR MODELING VISITOR FLOW DURING MASS EVENTS

Naumova N.A., Kovalenko Yu.S.

Kuban State University, Krasnodar, e-mail: Nataly\_Naumova@mail.ru

The purpose of the study is to develop numerical methods for modeling the flow of visitors during mass events. An urgent task is to develop theoretically sound approaches to the selection of technical solutions for the installation of checkpoint systems during mass events. The model for the passage of incoming visitors through the turnstile is a multi-channel queuing system with an unlimited queue. The flow of applications is not stationary in this case. To simulate a queuing system with a variable intensity of incoming flows, an approximation of the intensity of the incoming flow using piecewise continuous functions is used. In this case, it is possible to imagine the operation of a non-stationary system as a sequential operation of stationary ones, each of which is connected at the moment when the previous one is finished. The initial conditions will change, that is, the values of the probabilities of the system staying in a certain state. The service time can be considered distributed according to the exponential law, the distribution of time intervals between requests in the incoming stream according to Erlang's law. Using the pseudo-state method, a system of differential equations for the probabilities of states has been compiled. Methods for calculating the quality characteristics of the system functioning using a piecewise continuous function are proposed. Due to the large dimension of the system, only a numerical solution is possible. The methods of numerical and numerically analytical solution of the problem of finding the probabilities of states are given. In order to use the checkpoint system effectively, it is necessary to establish a correspondence between the system parameters and the characteristics of the pedestrian flow. One of the methods that allows you to do this is given in the work.

**Keywords:** pedestrian flow, mass event, mathematical model, queuing system

### Введение

Массовые мероприятия в настоящее время являются неотъемлемой частью современной жизни. С целью снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций при проведении таких мероприятий посетителям приходится входить через контрольно-пропускные системы, в частности турникеты. Грамотное планирование коли-

чества и места расположения таких систем позволяет повысить уровень удобства и безопасности и избежать больших очередей на входе в зону проведения мероприятия. С этой целью необходимо математическое моделирование потока посетителей, прибывающих к месту события.

В настоящее время существуют различные модели пешеходных потоков: микро-

скопические, мезоскопические и макроскопические [1, 2]. Каждая из них позволяет решать определенные задачи, использует различную степень детализации исходных данных.

Микроскопические модели требуют подробной детализации, учитывают поведение каждого человека и взаимодействие людей друг с другом. Макроскопические моделируют пешеходный поток в целом и оперируют такими данными, как скорость, плотность и интенсивность. Мезоскопическое моделирование сочетает микроскопические и макроскопические аспекты, то есть рассматривает отдельного человека с точки зрения всего потока.

Актуальной задачей является разработка теоретически обоснованных подходов выбора технических решений по установке контрольно-пропускных систем при проведении массовых мероприятий.

**Целью исследования** является разработка численных методов моделирования потока посетителей при проведении массовых мероприятий.

#### Материалы и методы исследования

При моделировании прохождения потока посетителей через контрольно-пропускную систему возможно применение теории массового обслуживания [3, с. 6]. С точки зрения приведенной выше классификации такие модели можно отнести к мезоскопическим. Теория массового обслуживания применяется для исследования процессов, протекающих в сложных стохастических системах.

Перед началом массового мероприятия в целях его безопасности посетители проходят через турникет. Образуется общая очередь у входа с  $n$  турникетами. То есть моделью прохода через турникет является многоканальная система массового обслуживания с неограниченной очередью. Время обслуживания можно считать распределенным по показательному закону. Однако поток заявок нельзя считать стационарным в данном случае. Согласно проведенным исследованиям [4, с. 44], интенсивность потока посетителей монотонно возрастает от нуля до некоторого максимума. Максимум достигается за 10–15 минут до начала события. Затем снижается до нуля.

Для моделирования системы массового обслуживания (СМО) с переменной интенсивностью входящих потоков в ряде работ [4, с. 50] предлагается применять аппроксимацию интенсивности входящего потока с помощью кусочно-непрерывных функций. В этом случае можно представить работу нестационарной СМО как последовательную работу стационарных СМО, каждая из которых подключается в тот момент, когда окончена работа другой. Изменяться будут начальные условия, то есть значения вероятностей пребывания системы в определенном состоянии.

Наиболее важными характеристиками, которые требуется получить, являются следующие: максимальная длина очереди; максимальная длительность ожидания в ней; периоды времени, в которые длина очереди достигает максимальной длины и время ожидания оказывается максимальным; число обслуженных к моменту начала массового мероприятия заявок; время, затраченное на обслуживание всех поступивших заявок.

#### Результаты исследования и их обсуждение

##### 1. Составление системы дифференциальных уравнений для вероятностей состояний

Моделью прохода людей через турникет при входе на мероприятие можно считать СМО вида  $E_k/M/m/n$ . То есть входящий поток заявок (поток посетителей, подходящих ко входу на мероприятие) – это поток Пальма с распределением интервалов по времени между подряд идущими событиями по закону Эрланга порядка  $k$ . Обслуживание заявок (проход через турникет одного посетителя) распределено по показательному закону. Имеется  $m$  турникетов (обслуживающих приборов). Место в очереди ограничено (можно принять  $n = 100 - 150$ ).

Составим систему дифференциальных уравнений для состояний системы. Обозначим  $U_m$  состояние, при котором в системе находится  $m$  требований. Для марковизации процесса будем использовать метод псевдосостояний [5, с. 214]. Входящий поток специального распределения Эрланга можно представить в виде суммы  $k$  показательных распределений с параметром  $\lambda$ .

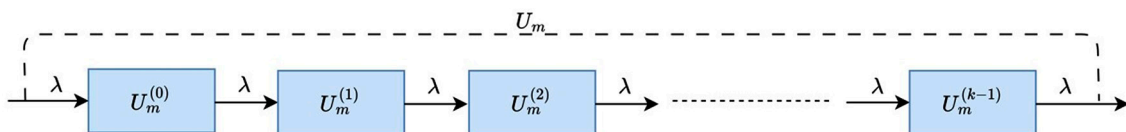


Рис. 1. Псевдосостояния распределения Эрланга порядка  $k$

Псевдосостояния для  $U_m$  изображены на рис. 1.

Составим дифференциальные уравнения для нахождения вероятностей пребывания системы в состояниях  $U_m$  [6, с. 56]. Граф состояний изображен на рис. 2.

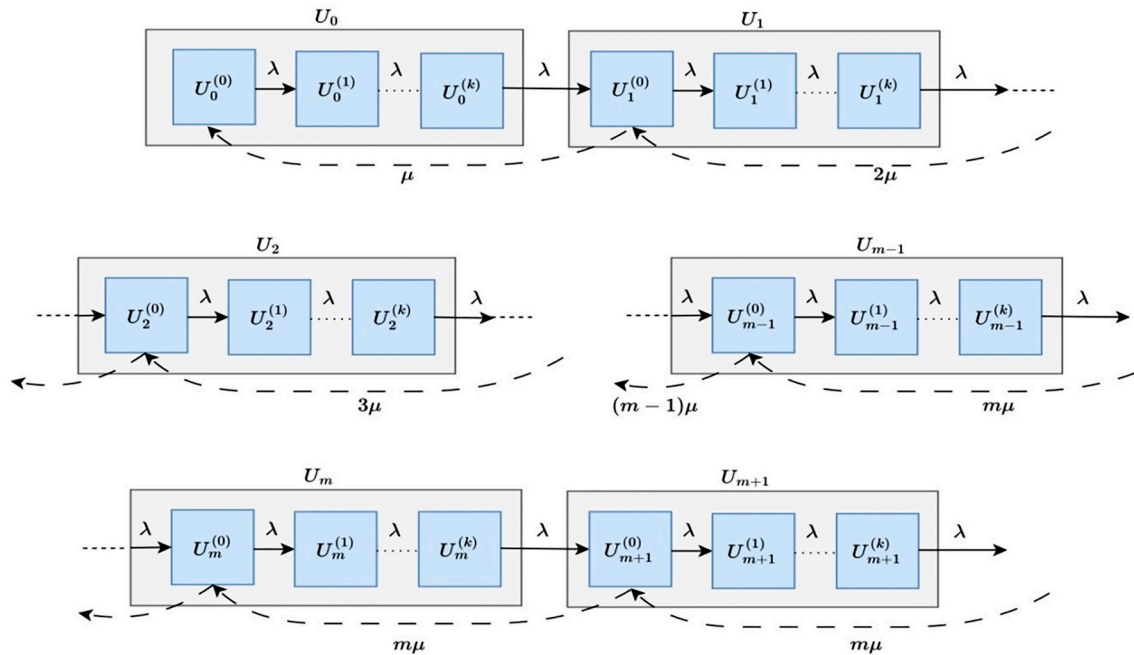


Рис. 2. Граф состояний СМО  $E_k/M/m/n$

В дальнейшем будем обозначать  $p_s^{(0)} = p_s$  для всех  $s$ .

1)  $U_{m+i}$  все каналы заняты,  $i$  требований в очереди.

Обозначим  $P_{n+i}(t + \Delta t)$  – вероятность нахождения в очереди  $i$  требований в момент  $(t + \Delta t)$ .

$$P_{n+i}(t + \Delta t) \approx P(A) + P(B) + P(C), \quad (1)$$

где  $A = \{\text{система была в состоянии } (m + i), \text{ и ничего не случилось за время } \Delta t\}$ ;

$B = \{\text{система была в состоянии } (m + i - 1), \text{ и пришло очередное требование за время } \Delta t\}$ ;

$C = \{\text{система была в состоянии } (m + i - 1), \text{ и за время } \Delta t \text{ освободился один из каналов обслуживания}\}$ .

$$p_{m+i}(t + \Delta t) \approx p_{m+i}(t) \cdot (1 - (\lambda + m\mu)\Delta t) + p_{m+i-1}^{(k)}(t) \cdot \lambda \cdot \Delta t + m\mu \cdot p_{m+i+1}(t) \Delta t. \quad (2)$$

Разделим на  $\Delta t$ :

$$\frac{p_{m+i}(t + \Delta t) - p_{m+i}(t)}{\Delta t} \approx -p_{m+i}(t)(\lambda + m\mu) + p_{m+i-1}^{(k)}(t) \cdot \lambda + m\mu p_{m+i+1}(t). \quad (3)$$

При  $\Delta t \rightarrow 0$  получим систему дифференциальных уравнений:

$$p_{m+i}'(t) = -p_{m+i}(t) \cdot (\lambda + m\mu) + p_{m+i-1}^{(k)}(t) \cdot \lambda + m\mu p_{m+i+1}(t), \quad (i = 1, 2, \dots, n - 1). \quad (4)$$

2)  $U_s$  – нет очереди и заняты  $s$  ( $s \leq m$ ) каналов обслуживания

$P_s(t + \Delta t)$  – вероятность нахождения системы в этом состоянии. Система будет находиться в состоянии  $U_s$  если произойдут следующие события:

$A = \{\text{за время } \Delta t \text{ не прибыло ни одно требование и не освободился ни один из } m \text{ каналов обслуживания}\}$ ;

$B = \{\text{освободился один из } (s + 1)\text{-го занятого канала обслуживания}\}$ ;

$C = \{\text{в момент } t \text{ были заняты } (s - 1) \text{ канал обслуживания, и за время } \Delta t \text{ прибыло одно требование}\}$ .

$$p_s(t + \Delta t) \approx p_s(t) \cdot (1 - (\lambda + s\mu)\Delta t) + (s + 1)\mu p_{s+1}(t) \cdot \Delta t + p_{s-1}^{(k)}(t) \lambda \Delta t. \quad (5)$$

Отсюда получаем дифференциальное уравнение:

$$\left(p_s(t)\right)' = -(\lambda + s\mu_0)p_s(t) + (s+1)\mu \cdot p_{s+1} + \lambda p_{s-1}^{(k)}(t) \quad (s = 1, 2, \dots, m). \quad (6)$$

3)  $U_0$  – система полностью свободна.

Аналогично предыдущему, получается уравнение

$$\left(p_0(t)\right)' = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t). \quad (7)$$

4)  $U_{m+n}$  – все каналы заняты, в очереди  $n$  заявок.

Псевдосостояние  $U_{m+n}$  состоит из одного подмножества  $U_{m+n} = \{u_{n+m}^{(0)}\}$ .  
Для вероятности  $p_{m+n}(t + \Delta t)$  получаем уравнение

$$p_{m+n}(t + \Delta t) \approx p_{m+n}(t) \cdot (1 - m\mu \cdot \Delta t) + p_{m+n-1}^{(k)}(t) \cdot \lambda \cdot \Delta t. \quad (8)$$

Отсюда

$$\left(p_{m+n}(t)\right)' = -m\mu p_{m+n}(t) + \lambda p_{m+n-1}^{(k)}(t). \quad (9)$$

5) нахождение в псевдосостоянии  $U_s$

Для вероятностей  $p_s^{(j)}(t)$  пребывания в транзитивных состояниях  $u_s^{(j)}$  справедливо

$$p_s^{(j)}(t + \Delta t) \approx p_s^{(j)}(t)(1 - \lambda\Delta t) + p_s^{(j-1)}(t) \cdot \lambda \Delta t. \quad (10)$$

Разделим на  $\Delta t$  и найдем предел при  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$\left(p_s^{(j)}(t)\right)' = -\lambda p_s^{(j)}(t) + \lambda p_s^{(j-1)}(t) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, k). \quad (11)$$

Итак, для определения неизвестных вероятностей получаем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \left(p_s(t)\right)' = -(\lambda + s\mu)p_s(t) + (s+1)\mu \cdot p_{s+1} + \lambda p_{s-1}^{(k)}, (s = 1, 2, \dots, m) \\ \left(p_{m+i}(t)\right)' = -(\lambda + m\mu)p_{m+i}(t) + \lambda p_{m+i-1}^{(k)} + m\mu p_{m+i-1}, (i = 1, 2, 3, \dots, n-1) \\ \left(p_{m+n}(t)\right)' = -m\mu p_{m+n}(t) + \lambda p_{m+n-1}^{(k)} \\ \left(p_s^{(j)}(t)\right)' = -\lambda p_s^{(j)}(t) + \lambda p_s^{(j-1)}(t), (j = 1, 2, \dots, k) \end{cases}. \quad (12)$$

## 2. Представление переменной интенсивности в виде кусочно-стационарной функции

Для моделирования нестационарного потока посетителей в случае, когда интенсивность потока меняется с течением времени, представим его в виде кусочно-непрерывной функции. Для этого разобьем всю временную ось на интервалы  $[t_{i-1}; t_i]$ . И будем считать на каждом из них интенсивность поступления заявок постоянной. В этом случае стационарными будут и значения параметров Эрланга на каждом таком интервале. Для  $i$ -го интервала обозначим их  $\bar{\lambda}_i$  и  $k_i$ .

Тогда с помощью функции Хэвисайда можно записать зависимость параметров распределения от времени следующим образом:

$$\lambda(t) = \sum_{i=0}^K (\theta(t-t_i) - \theta(t-t_{i+1})) \bar{\lambda}_i, \quad (13)$$

$$k(t) = \sum_{i=0}^K (\theta(t-t_i) - \theta(t-t_{i+1})) k_i, \quad (14)$$

где  $\theta(t-a) = \begin{cases} 0, & t < a, \\ 1, & t \geq a. \end{cases}$

Тогда для вычисления характеристик качества функционирования СМО применяются формулы

$$L_q(t) = \sum_{n=m}^{\infty} (n-m) p_n(t) - \text{зависимость длины очереди от времени};$$

$$W_q(t) = \sum_{n=m}^{\infty} (n-m+1) \frac{p_n(t)}{m\mu} - \text{зависимость ожидания в очереди от времени.}$$

Таким образом, для решения поставленной задачи надо решить систему дифференциальных уравнений Колмогорова для стационарной СМО при произвольных начальных условиях и записать вероятности  $p_n(t)$  через функцию Хэвисайда.

Для определения неизвестных вероятностей СМО на каждом из интервалов  $[t_{i-1}; t_i]$  требуется решить систему дифференциальных уравнений (12). Начальные условия имеют вид

$$p_g^{(0)}(0) = 1, p_m^{(j)}(0) = 0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots, g-1, g+1, \dots; j = 1, \dots, k, j = 1, 2, 3, \dots, q). \quad (15)$$

Номер  $g$  вероятности  $p_g^{(0)}(0)$ , отличной от нуля в начале нового временного интервала  $[t_{i-1}; t_i]$ , определяется из условия  $g = [M(X(t))]$  – целая часть от математического ожидания числа заявок  $X(t)$  в системе на предыдущем временном интервале  $[t_{i-2}; t_{i-1}]$ .

Следует учитывать, что

- 1) в наших обозначениях  $p_m^{(0)} = p_m$  для всех  $m$ ;
- 2)  $r_m(t) = P(U_m)$ , то есть  $r_m(t)$  – вероятность пребывания системы в состоянии  $U_m$ ;
- 3) согласно законам теории вероятностей:  $r_m(t) = p_m(t) + \sum_{j=1}^k p_m^{(j)}$ .

### 3. Численное решение системы дифференциальных уравнений

Возможны различные численные решения [7] полученной системы дифференциальных уравнений (12).

**1 способ.** Решить систему линейных дифференциальных уравнений (12) можно, например, методом Эйлера. Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} f_s &= -(\lambda + s\mu) p_s(t) + (s+1)\mu \cdot p_{s+1} + \lambda p_{s-1}^{(k)}, \quad (s = 1, 2, \dots, m), \\ f_{m+i} &= -(\lambda + m\mu) p_{m+i}(t) + \lambda p_{m+i-1}^{(k)}(t) + m\mu p_{m+i-1}(t), \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n-1), \\ f_{m+n} &= -m\mu p_{m+n}(t) + \lambda p_{m+n-1}^{(k)}(t), \\ f_s^{(j)} &= -\lambda p_s^{(j)}(t) + \lambda p_s^{(j-1)}(t), \quad (j = 1, 2, \dots, k). \end{aligned}$$

Расчетные формулы будут иметь вид

$$\begin{cases} (p_s)_q = (p_s)_{q-1} + h \cdot f_s, \quad (s = 1, 2, \dots, m) \\ (p_{m+i})_q = (p_{m+i})_{q-1} + h \cdot f_{m+i}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n-1) \\ (p_{m+n})_q = (p_{m+n})_{q-1} + h \cdot f_{m+n} \\ (p_s^{(j)})_q = (p_s^{(j)})_{q-1} + h \cdot f_s^{(j)}, \quad (j = 1, 2, \dots, k) \end{cases} \quad (16)$$

$$p_g^{(0)}(0) = 1, p_s^{(j)}(0) = 0 \quad (s = 0, 1, 2, \dots, g-1, g+1, \dots; j = 1, \dots, k, j = 1, 2, 3, \dots, q)$$

где  $h$  – шаг интегрирования,  $s$  – номер итерации.

Или методом Рунге – Кутты, например, четвертого порядка:

$$\begin{cases} (p_s)_q = (p_s)_{q-1} + \frac{1}{6}k_{s,1} + \frac{2}{6}k_{s,2} + \frac{2}{6}k_{s,3} + \frac{1}{6}k_{s,4}, \quad (s = 1, 2, \dots, m) \\ (p_{m+i})_q = (p_{m+i})_{q-1} + \frac{1}{6}k_{m+i,1} + \frac{2}{6}k_{m+i,2} + \frac{2}{6}k_{m+i,3} + \frac{1}{6}k_{m+i,4}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n-1) \\ (p_{m+n})_q = (p_{m+n})_{q-1} + \frac{1}{6}k_{m+n,1} + \frac{2}{6}k_{m+n,2} + \frac{2}{6}k_{m+n,3} + \frac{1}{6}k_{m+n,4} \\ (p_s^{(j)})_q = (p_s^{(j)})_{q-1} + \frac{1}{6}k_{s,1}^{(j)} + \frac{2}{6}k_{s,2}^{(j)} + \frac{2}{6}k_{s,3}^{(j)} + \frac{1}{6}k_{s,4}^{(j)}, \quad (j = 1, 2, \dots, k) \end{cases} \quad (17)$$



Здесь используются следующие обозначения для  $l = 0, 1, \dots, m+n$ :

$$\begin{aligned} k_{l,1} &= h \cdot f_s \left( t_q, (p_l)_q \right), & k_{l,2} &= h \cdot f_s \left( t_q + \frac{h}{2}, (p_l)_q + k_{l,1} \right), \\ k_{l,3} &= h \cdot f_s \left( t_q + \frac{h}{2}, (p_l)_q + k_{l,2} \right), & k_{l,4} &= h \cdot f_s \left( t_q + h, (p_l)_q + k_{l,3} \right), \end{aligned} \quad (18)$$

А также

$$\begin{aligned} k^{(j)}_{l,1} &= h \cdot f_s \left( t_q, (p_l^{(j)})_q \right), & k^{(j)}_{l,2} &= h \cdot f_s \left( t_q + \frac{h}{2}, (p_l^{(j)})_q + k^{(j)}_{l,1} \right), \\ k^{(j)}_{l,3} &= h \cdot f_s \left( t_q + \frac{h}{2}, (p_l^{(j)})_q + k^{(j)}_{l,2} \right), & k^{(j)}_{l,4} &= h \cdot f_s \left( t_q + h, (p_l^{(j)})_q + k^{(j)}_{l,3} \right), \end{aligned} \quad (19)$$

Этот метод на каждом шаге требует четырех вычислений правой части дифференциального уравнения. Но так как он четвертого порядка, то приводит к уменьшению вычислительной погрешности.

**2 способ.** Численно-аналитический метод решения системы линейных дифференциальных уравнений.

Система линейных однородных дифференциальных уравнений (12) в матричном виде примет вид

$$P(t) = A \cdot P(t). \quad (20)$$

Причем матрица  $A$  – трехдиагональная. Для трехдиагональной матрицы можно найти собственные значения, используя стандартный алгоритм:

*1 шаг:* находим характеристический многочлен  $\det(A - \lambda E) = 0$

Для трехдиагональной матрицы существует специальный способ вычисления определителя  $\det(A - \lambda E)$  без явного выражения в виде многочлена.

Пусть  $D_m(\lambda)$  – главный минор  $m$ -го порядка матрицы  $(A - \lambda E)$ . Тогда:

$$D_m(\lambda) = (a_{m,m} - \lambda)D_{m-1}(\lambda) - a_{m,m-1}M_{m,m-1}(\lambda) - \text{разложение минора по последней строке.}$$

Дополнительный минор  $M_{m,m-1}(\lambda)$  для элемента  $a_{m,m-1}$  в последнем столбце содержит один ненулевой элемент  $a_{m-1,m}$ . Поэтому его можно разложить по этому столбцу:

$$M_{m,m-1}(\lambda) = a_{m-1,m}D_{m-2}(\lambda).$$

Итак, получаем рекуррентную формулу для вычисления миноров:

$$D_m(\lambda) = (a_{m,m} - \lambda)D_{m-1}(\lambda) - a_{m,m-1}a_{m-1,m}D_{m-2}(\lambda), \quad m = 3, 4, \dots, n. \quad (21)$$

*2 шаг:* находим корни характеристического многочлена.

Корни многочлена  $D_n(\lambda)$  можно найти, например, методом парабол.

*3 шаг:* выписываем решение системы, используя аналитический подход для систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Следует отметить, что нахождение решения системы (12) в данном случае, в отличие от численного метода, дающего конечный набор точек, представляет собой построение процедуры, позволяющей определить вероятности состояний в произвольный момент времени [7].

### Заключение

Анализ опыта организаций масштабных массовых мероприятий показывает огромную значимость грамотной организации управления потоками посетителей. Для эффективного использования контрольно-пропускной системы необходимо установить соответствие между параметрами системы и характеристиками пешеходного потока. Один из методов, который позволяет это сделать, рассмотрен в данной работе. В силу большой размерности системы, возможно только численное ее решение. С этой целью приведены два различных способа ее решения.

**Список литературы**

1. Naumova N.A. Advanced optimization of road network: Pedestrian crossings with calling devices // *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. Vol. 1. P. 130–137.
2. Zhang Z. and Jia L. Optimal guidance strategy for crowd evacuation with multiple exits: A hybrid multiscale modeling approach // *Applied Mathematical Modelling*. 2021. Vol. 90. P. 488–504.
3. Дудин А.Н., Медведев Г.А., Меленец Ю.В. Практикум на ЭВМ по теории массового обслуживания: учеб. пособие. Мн.: Университетское, 2000. 109 с.
4. Корелин И.А. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения для анализа динамики контрольно-пропускных систем объектов проведения массовых мероприятий: дис. ... канд. тех. наук. Екатеринбург, 2021. 208 с.
5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие для втузов. М.: Высшая школа, 2000. 383 с.
6. Наумова Н.А., Зырянов В.В., Наумов Р.А. Автоматизированное управление транспортными потоками средствами мезоскопического моделирования: монография. Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. 266 с.
7. Бубнов В.П., Еремин А.С., Сергеев С.А., Особенности программной реализации численно-аналитического метода расчета моделей нестационарных систем обслуживания // *Труды СПИИРАН*. 2015. № 1 (38). С. 218–232.

УДК 004.942:001.891.55  
DOI

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АЭРОАКВАПОНИКИ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Нечипоренко А.Ю., Пиотровский Д.Л.

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва,  
e-mail: [NechiporenkoAU@yandex.ru](mailto:NechiporenkoAU@yandex.ru), [piotrovsky2005@yandex.ru](mailto:piotrovsky2005@yandex.ru)

Целью работы является получение адекватной математической модели технологического процесса аэроаквапоники. Определено, что для достижения максимального урожая в процессе аэроаквапоники необходимо поддерживать такие параметры, как температура, влажность и pH раствора. В ходе анализа были найдены фиксированные значения всех переменных, кроме указанных параметров. Задача максимального прироста картофеля требует наложения ограничений, связанных с физической сущностью процесса. Из-за сложности математической формализации процесса выращивания картофеля в условиях вертикального земледелия и аэроаквапоники, было решено использовать экспериментальный метод для определения экстремальных характеристик. Учитывая три фазы развития куста картофеля, предполагается проведение нескольких экспериментов, связанных с результатами предыдущих фаз для достижения максимального прироста. В работе исследуется метод повышения производительности выращивания картофеля в условиях аэроаквапонной среды. На основе проведенного эксперимента создана математическая модель, описывающая процесс выращивания картофеля в аэроаквапонной установке. С использованием полученных полиномов определен теоретический максимум для критерия оптимальности. В ходе исследования применялись методы обработки экспериментальных данных, такие как метод наименьших квадратов, а также программное обеспечение для подбора и оптимизации многопараметрических функций. Процесс выращивания картофеля в аэроаквапонной установке характеризуется устойчивостью и минимальной подверженностью случайным неконтролируемым возмущениям. Однако задача выращивания максимального количества продукции за минимальные сроки является слишком общей, и для ее решения необходимо наложить определенные ограничения, обусловленные особенностями используемого метода. В результате получены полиномиальные зависимости, отражающие влияние температуры, влажности и pH на продуктивность роста и развития картофеля на каждом этапе эксперимента. Максимальная ошибка, не превышающая погрешности измерения технологических параметров в 5 %, подтверждает адекватность разработанной математической модели.

**Ключевые слова:** аэроаквапоника, оптимизация, математическая модель, критерий оптимальности, полиномиальная многопараметрическая зависимость

## MATHEMATICAL MODELING OF THE AEROAQUAPONICS PROCESS WITH DETERMINATION OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS

Nechiporenko A.Yu., Piotrovskiy D.L.

Russian Technological University, Moscow,  
e-mail: [NechiporenkoAU@yandex.ru](mailto:NechiporenkoAU@yandex.ru), [piotrovsky2005@yandex.ru](mailto:piotrovsky2005@yandex.ru)

The aim of the work is to obtain an adequate mathematical model of the aeroponic process. It has been determined that to achieve maximum yield in the aeroponic process, it is necessary to maintain parameters such as temperature, humidity, and pH of the solution. During the analysis, fixed values of all variables were found, except for the specified parameters. The task of maximum potato growth requires imposing restrictions related to the physical nature of the process. Due to the complexity of mathematical formalization of the potato cultivation process in vertical farming and aeroponic conditions, it was decided to use an experimental method to determine extreme characteristics. Considering three phases of potato bush development, it is assumed that several experiments will be conducted related to the results of previous phases to achieve maximum growth. The work explores a method for increasing the productivity of potato cultivation in an aeroponic environment. Based on the experiment, a mathematical model was created that describes the process of growing potatoes in an aeroponic installation. Using the obtained polynomials, the theoretical maximum for the optimality criterion was determined. During the study, methods of processing experimental data were used, such as the least squares method, as well as software for selecting and optimizing multiparameter functions. Polynomials were obtained that reflect the influence of temperature, humidity, and pH on the productivity of potato growth and development at each stage of the experiment. The maximum error, not exceeding the measurement error of technological parameters by 5 %, confirms the adequacy of the developed mathematical model. The process of growing potatoes in an aeroponic installation is characterized by stability and minimal susceptibility to random uncontrolled disturbances. However, the task of growing the maximum number of products in the shortest possible time is too general, and to solve it, it is necessary to impose certain restrictions due to the peculiarities of the method used.

**Keywords:** aeroaquaponics, optimization, mathematical model, optimality criterion, polynomial multivariate dependence

### Введение

В условиях растущей урбанизации и высокой плотности населения крупных мегаполисов вертикальное земледелие становится все более актуальным и востребованным методом выращивания сельскохозяйственных культур [1]. Этот метод позволяет значительно увеличить урожайность на единицу площади, что делает его идеальным решением для обеспечения продовольствием в условиях плотной городской застройки.

В условиях, когда ресурсы ограничены, а население продолжает расти, вертикальное земледелие становится ключевым элементом устойчивого развития. Оно не только обеспечивает продовольственную безопасность, но и способствует созданию новых рабочих мест и развитию инновационных технологий.

В данной статье рассматривается совершенно новый метод вертикального земледелия – аэроаквапоника. По своей сути и особенностям это результат слияния технологии аквакультуры и аэропоники [2], то есть растения выращиваются так же в условиях аэропоники, но питательный раствор берется в результате жизнедеятельности рыб, что является аналогом технологии аквапоники [3], которая так же основана на аквакультуре, только в условиях гидропоники.

Главным преимуществом новой технологии и ее превосходством над аквапоникой является полная универсальность. В данных условиях возможно выращивать абсолютно любые растения и разводить любые породы рыб, так как непосредственного контакта биологических видов, как в аквапонике, не происходит.

Аэроаквапоника открывает новые горизонты для сельского хозяйства, позволяя эффективно использовать ограниченные ресурсы и создавать устойчивые системы производства продовольствия. Этот метод не только способствует улучшению экологической ситуации, но и предоставляет возможности для экономического роста и социального развития. Аэроаквапоника представляет собой перспективное направление в области вертикального земледелия, которое может стать важным элементом устойчивого развития городов и обеспечения продовольственной безопасности в будущем.

**Цель работы** – получение адекватной математической модели технологического процесса аэроаквапоники.

### Материалы и методы исследования

Для получения наибольшего урожая необходимо выдерживать все параметры технологического процесса на заданном уровне.

Таким образом:

$$Q = f(T, H, D, \Lambda, S, C, A, r, N, V, pH) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $Q$  – количество произведенной продукции за единицу времени, кг/ед. времени;

$T$  – температура, °C;

$H$  – относительная влажность, %;

$D$  – цикл освещенности, ч;

$\Lambda$  – интенсивность, мкмоль/м<sup>2</sup>\*с;

$S$  – цикл распыления раствора, мин;

$C$  – состав, мг;

$A$  – аэрация корней, мин;

$r$  – расстояние между растениями, м;

$N$  – сорт картофеля;

$V$  – порода рыбы;

$pH$  – значение параметра pH жидкости.

В результате проведенного анализа отметим, что из всех ранее обозначенных переменных, входящих в выражение критерия оптимальности (1), были найдены и выведены все фиксированные значения переменных, кроме температуры, влажности и pH раствора.

В результате критерий оптимизации (1) для выращивания картофеля в аэроаквапонной установке сводится к следующему виду:

$$Q' = f(T, H, pH) \rightarrow \max. \quad (2)$$

Задача максимального прироста картофеля, производимого за технологический цикл, описанная ранее в формуле (2), является довольно общей, и поэтому для ее решения необходимо наложить некоторые ограничения, обоснованные физической сущностью процесса. Конечный вид функции  $Q' = f(T, H, pH)$  не известен. Это можно объяснить как сложностью и весьма малой математической формализацией процесса выращивания картофеля в условиях вертикального земледелия, так и выращивания картофеля в условиях аэроаквапоники в частности.

В связи с вышесказанным было принято решение воспользоваться экспериментальным методом определения экстремальных характеристик. При этом на основании [4–6] и исследований [7] на аргументы функции  $Q' = f(T, H, pH)$  накладываются следующие ограничения:

$$- T \geq 18^\circ\text{C};$$

$$- T \leq 24^\circ\text{C};$$

$$- H \geq 50\%;$$

$$- H \leq 55\%;$$

$$- pH \geq 6,5;$$

$$- pH \leq 8.$$

Однако, учитывая, что при росте и развитии куста картофеля растение проходит

три фазы развития, предполагается, что необходимо произвести несколько экспериментов, непосредственно связанных с результатом предыдущей фазы, как продолжение максимального прироста.

Инструментом для получения экспериментальных данных для функции  $Q' = f(T, H, pH)$  является эксперимент.

Для первой фазы:

- берется 100 здоровых картофелин среднего размера по 100–150 г каждая и помещается в аэроаэрационную установку;
- производится сбрызгивание картофеля питательным раствором с заранее заданным интервалом в зависимости от фазы роста с одновременным контролем уровня влажности;
- производится увеличение значения pH с одновременным контролем значения параметра;
- все действия производятся при необходимой температуре и уровне аэрации;
- эксперимент прекращается при прорастании как минимум 70% картофелин;
- если более 30% картофелин погибло, эксперимент считается неудачным, комбинация значений не подходит под заданные значения оптимальности;
- при прекращении эксперимента вычисляется общее количество проросших картофелин (учитываются только здоровые корнеплоды с хорошо развитой корневой системой) и время, которое было затрачено на произрастание картофеля.

Для второй фазы:

- картофель из наилучшего по времени и качеству эксперимента переходит во вторую фазу эксперимента (при необходимости для второй фазы дополнительно проращивается картофель по уже известным параметрам первой фазы);
- производится сбрызгивание картофеля питательным раствором с заранее заданным интервалом в зависимости от фазы роста с одновременным контролем уровня влажности;
- производится увеличение значения pH с одновременным контролем значения pH;
- все действия производятся при необходимой температуре и уровне аэрации;
- эксперимент прекращается при образовании почек на корнях как минимум 70% кустов картофеля.
- если более 30% картофелин погибло, то эксперимент считается неудачным;
- при прекращении эксперимента во второй его фазе производится оценка размеров куста и количества клубней картофеля.

Для третьей фазы:

- в последней фазе эксперимента производится выращивание кустов картофеля с наибольшим размером вегетативной части и при этом наибольшим числом почек. Рас-

тения, полностью ушедшие в вегетативную часть, также отбраковываются и считаются неудачными;

- производится сбрызгивание картофеля питательным раствором с заранее заданным интервалом в зависимости от фазы роста с одновременным контролем уровня влажности;
- производится увеличение значения pH с одновременным контролем значения параметра pH;
- все действия производятся при необходимой температуре и уровне аэрации;
- эксперимент заканчивается при увядании куста картофеля;
- оценивается общая масса с куста картофеля, средняя масса одной картофелины и их количество.

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведения эксперимента были получены оптимальные значения технологических параметров для каждой из фаз.

Для первой фазы было выяснено, что наибольшее число здоровых ростков картофеля было получено при значениях:

$$pH = 6,5;$$

$$H = 52\%;$$

$$T = 23^\circ\text{C}.$$

При отклонении от этих значений наблюдались гнилостные новообразования и/или увядание растений.

В нормальных условиях картофель сорта «Розара» образует 15–18 клубней. Для второй фазы наибольшее количество клубней получено при значениях:

$$pH = 6,5;$$

$$H = 54\%;$$

$$T = 21^\circ\text{C}.$$

Для третьей фазы наибольший вес был достигнут при значениях:

$$pH = 6,5;$$

$$H = 51\%;$$

$$T = 19^\circ\text{C}.$$

В результате трехпараметрической аппроксимации было выяснено, что наибольшую точность для первой фазы эксперимента обеспечивает полином следующего вида:

$$Q = \alpha * |T - \beta| - \gamma * |H - \delta| - \varepsilon * |pH - \epsilon| + \theta, (3)$$

где  $Q$  – искомый результат;

$T$  – температура;

$H$  – влажность;

$pH$  – параметр среды pH;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \epsilon, \theta$  – свободные коэффициенты.

Наибольшую точность для второй фазы эксперимента обеспечивает полином следующего вида:

$$Q = \alpha * (T - \beta)^2 - \gamma * (H - \delta)^2 - \varepsilon * |pH - \epsilon| + \theta. \quad (4)$$

Наибольшую точность для третьей фазы эксперимента обеспечивает полином следующего вида:

$$Q = \alpha * (T - \beta)^2 - \gamma * (H - \delta)^2 - \varepsilon * (pH - \epsilon)^2 + \theta. \quad (5)$$

При помощи программы, написанной на языке Python, были подобраны коэффициенты для каждой из фаз эксперимента.

В результате уравнение (3) для первой фазы эксперимента приняло следующий вид:

$$Q_1 = -8,077 * |T - 23,1| - 9,109 * |H - 52,02| - 22,41 * |pH - 5,261| + 132,6. \quad (6)$$

График, описывающий уравнение (6), представлен на рис. 1.

Для второй фазы уравнение (4) имеет следующие коэффициенты

$$Q_2 = -0,5432 * (T - 21)^2 - 0,4249 * (H - 54,01)^2 - 2,105 * |pH - 6,6| + 17,91. \quad (7)$$

График, описывающий уравнение (7), представлен на рис. 2.

На третьей фазе уравнение (5) имеет следующие коэффициенты

$$Q_3 = -54,45 * (T - 19,31)^2 - 23,16 * (H - 50,65)^2 - 35,94 * (pH - 4,776)^2 + 2169. \quad (8)$$

График, описывающий уравнение (8), представлен на рис. 3.

#### Математическое описание процесса аэроаквапоники

	Полином	Максимальная приведенная ошибка
1 фаза	$Q_1 = -8,077 *  T - 23,1  - 9,109 *  H - 52,02  - 22,41 *  pH - 5,261  + 132,6$	4,4 %
2 фаза	$Q_2 = -0,5432 * (T - 21)^2 - 0,4249 * (H - 54,01)^2 - 2,105 *  pH - 6,6  + 17,91$	3,4 %
3 фаза	$Q_3 = -54,45 * (T - 19,31)^2 - 23,16 * (H - 50,65)^2 - 35,94 * (pH - 4,776)^2 + 2169$	4,2 %

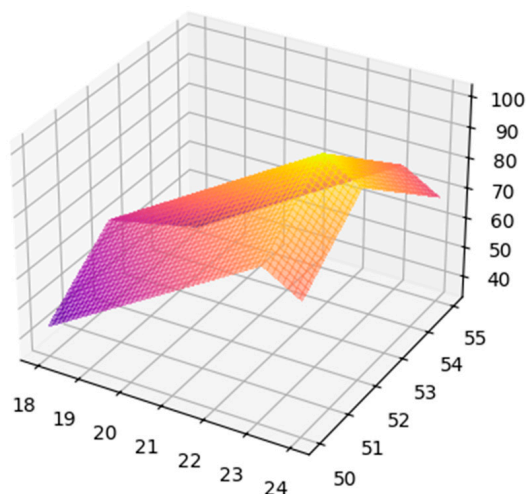


Рис. 1. График на основе уравнения (6)

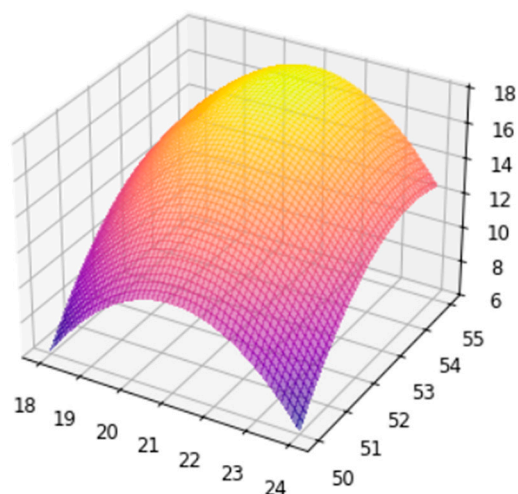


Рис. 2. График на основе уравнения (7)

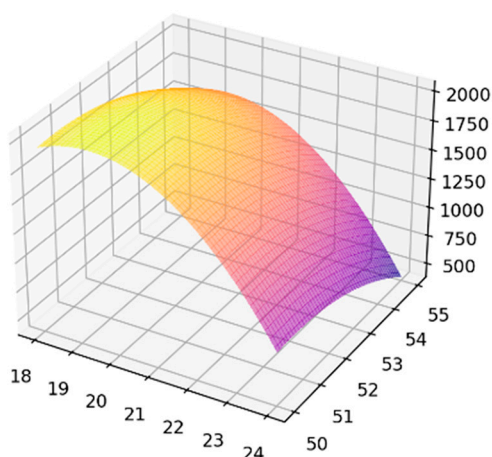


Рис. 3. График на основе уравнения (8)

Для определения адекватности полученного математического описания были рассчитаны приведенные погрешности для каждого из полученных полиномов.

Результаты расчетов в таблице.

В результате поиска теоретического экстремума были получены максимальные значения производительности для каждой фазы.

Для первой:  $pH = 6,5$ ,  $H = 52\%$ ,  $T = 23^\circ\text{C}$ , экстремальное значение полинома  $Q = 100$ , из чего следует, что при данных параметрах 100% картофеля прорастут.

Для второй фазы:  $pH = 6,6$ ,  $H = 54\%$ ,  $T = 21^\circ\text{C}$ , экстремальное значение полинома  $Q = 18$ , из чего следует, что на каждом из проросших кустов завяжется по 18 клубней картофеля.

Для третьей фазы:  $pH = 6,5$ ,  $H = 51\%$ ,  $T = 19^\circ\text{C}$ , экстремальное значение полинома  $Q = 2062$  г урожая с каждого куста картофеля.

### Выводы

1. В результате использования экспериментального метода определения харак-

теристических зависимостей количества производимого картофеля от параметров, влияющих на качество процесса выращивания, определено, что характер зависимости объема производимой продукции от температуры, влажности и параметра pH имеет экстремальную зависимость.

2. Определены полиномиальные зависимости, описывающие влияние температуры, влажности и параметра pH на развитие картофеля для каждого из этапов эксперимента, и определена максимальная ошибка, не превышающая погрешности измерения технологических параметров в 5%, что свидетельствует об адекватности математического описания.

### Список литературы

1. Эскобар Х.П., Сандоваль А.А., Биензи П.М., Саласар Х.Д. Здания вертикальных ферм в умных городах // Системные технологии. 2020. № 34. С. 73–76.
2. Шарапов А.В., Казак А.А. Особенности выращивания безвирусного поколения мини-клубней в условиях аэропоники // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса. 2022. № 2. С. 69–79.
3. Мартиросян Ю.Ц., Кособрюхов А.А., Мартиросян В.В. Аэропонные технологии в безвирусном семеноводстве: преимущества и перспективы // Достижения науки и техники агропромышленного комплекса. 2016. № 10. С. 47–51.
4. Нуридинов Я.А., Ярова Э.Т., Мальчихина О.Г. Продуктивность меристемного картофеля в искусственных средах аэропонных и гидропонных установок // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 6 (80). С. 102–106.
5. Карпухин М.Ю., Матийчук В.Р. Фазы развития картофеля // Вклад молодых ученых в развитие агропромышленного комплекса. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2021. С. 39–41.
6. Варушкина А.М., Луговская Н.П., Максимов А.Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях светокультуры // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019. № 2. С. 37–46. DOI: 10.72422658-705X2019.2.4.
7. Muthoni J., Kabira J., Simeli H., Melis R. Regulation of potato tuber dormancy // Australian Journal of Crop Science. 2014. № 5. С. 754–759.

УДК 004.414.23:519.61  
DOI

## ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ПО ФОРМУЛАМ ЛАГРАНЖА И КОШИ НА ОСНОВЕ УСТОЙЧИВОЙ АДРЕСНОЙ СОРТИРОВКИ

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*

Целью работы является представление метода компьютерной идентификации средних значений по формулам Лагранжа и Коши. Средние значения определяются как минимумы модуля функции, состоящей из разности отношения приращения функции к приращению аргумента и производной на отрезке приращения. Минимум модуля функции идентифицируется по программе, без изменения заимствованной из метода идентификации нулей полиномов на основе устойчивой адресной сортировки. Предложены видоизменения теорем Лагранжа и Коши, при которых от входных функций не требуется непрерывность, а их средние значения выражаются через средние значения других, произвольно взятых функций, удовлетворяющих условиям теорем Лагранжа и Коши. Представлены различные примеры программной идентификации средних значений по классическим и видоизмененным формулам. Показано, что предложенный метод является частным случаем общего метода решения функциональных уравнений от одной действительной переменной, особенности его применения иллюстрируются на наглядных примерах. Отличительным качеством метода является ненакопление погрешности. Это достигается вследствие того, что метод не преобразует входные данные, а только сравнивает их, как того требует сортировка. При спуске к локализованному значению также используются только операции сравнения. Погрешность возникает единственно на входе метода при вычислении значений входных функций для последующих сравнений. Приводится код использованной программы, описаны результаты численных экспериментов. Отмечены возможные применения метода, одно из которых относится к компьютерному анализу устойчивости в смысле Ляпунова.

**Ключевые слова:** средние значения, формулы Лагранжа и Коши, видоизменение теорем о средних значениях, устойчивая сортировка слиянием, компьютерная идентификация средних значений, решение функциональных уравнений

## ON THE IDENTIFICATION OF MEAN VALUES USING LAGRANGE'S AND CAUCHY'S FORMULAS BASED ON STABLE ADDRESS SORTING

Romm Ya.E., Tyushnyakova I.A.

*Taganrog Institute named after A.P. Chekhov, a branch of Rostov State University of Economics,  
Taganrog, e-mail: romm@list.ru, solovyova\_irina@mail.ru*

The aim of the work is to present a method of computer identification of average values using the Lagrange and Cauchy formulas. The mean values are defined as the minimum of the modulus of a function consisting of the difference between the ratio of the function increment to the argument increment and the derivative on the increment segment. The minimum modulus of the function is identified by the program, without changing the one borrowed from the method of identifying zeros of polynomials based on stable address sorting. Modifications of the Lagrange's and Cauchy's theorems are proposed, in which continuity is not required from the input functions, and the mean values are expressed in terms of the mean values of other arbitrarily taken functions satisfying the conditions of the Lagrange's and Cauchy's theorems. Various examples of software identification of mean values using classical and modified formulas are given. It is shown that the proposed method is a special case of a general method for solving functional equations from one real variable, the features of its application are illustrated by clear examples. The distinctive quality of the method is the non-accumulation of error. This is achieved due to the fact that the method does not transform the input data, but only compares them, as required by sorting. When descending to a localized value, only compare is on operations are used. The error occurs only at the input of the method when calculating the values of the input functions for subsequent comparisons. The code of the program used is given, and the results of numerical experiments are described. Possible applications of the method are noted, one of which relates to the computer stability analysis in the sense of Lyapunov.

**Keywords:** mean values, Lagrange's and Cauchy's formulas, modification of mean value theorems, stable merge sorting, computer identification of mean values, solution of functional equations

### Введение

Теоремы о средних значениях принадлежат к основам математического анализа, являются наиболее популярными в теоретических исследованиях в области анализа.

Формула Лагранжа имеет физическую трактовку: существует такой момент времени, в который мгновенная скорость движения равна средней скорости [1, с. 254]. Вместе с тем формулы Лагранжа и Коши относятся к типичным теоремам существования:



они утверждают существование средних значений, но не указывают алгоритмов их вычисления. Знание средних значений востребовано во многих приложениях, однако общий способ их нахождения в научной литературе не представлен. Необходимость конструктивного алгоритма вычисления средних значений инициировалась исследованием устойчивости в смысле Ляпунова решений обыкновенных дифференциальных уравнений. Один из предложенных в [2, с. 51] критериев выражался через приращение решений и средние значения правых частей системы. Там же указывалось, как средние значения могут быть вычислены на основе устойчивой адресной сортировки, примененной к поиску корней функций одной действительной переменной. В излагаемой ниже работе рассматривается конструктивное решение этой задачи. Сравнительно подробно излагается принцип и особенности его программной реализации, заключающиеся в переносе на данную предметную область метода компьютерной идентификации корней полиномов. Выполняется исследование формальных разновидностей формул Лагранжа и Коши, а также программной реализации этих формул и их разновидностей.

**Цель исследования** – аналитически и с помощью численного эксперимента представить метод идентификации средних зна-

чений по формулам Лагранжа и Коши и показать связь предлагаемого метода с общим методом численного решения функциональных уравнений на основе устойчивой адресной сортировки.

**Применение метода идентификации нулей функций на основе устойчивой адресной сортировки для идентификации средних значений.** В [3, с. 81–87] изложен сравнительно общий метод идентификации нулей (корней – синоним будет применяться семантически равноценно без дополнительных оговорок) функций одной действительной переменной, в частности полиномов на основе устойчивой сортировки последовательности с взаимно однозначным соответствием входных и выходных индексов. Суть метода состоит в следующем. В любой числовой последовательности устойчивая адресная сортировка позволяет выделить все локально (и глобально) экстремальные элементы с помощью элементарных операторов. После сортировки последовательности  $s$  каждый ее локально минимальный элемент с входным индексом  $e_k$ ,  $1 \leq k \leq N$ , в произвольном радиусе локализации  $r = \varepsilon_0$  идентифицируется по условию

$$\neg \exists \ell \in \overline{1, k-1} : |e_k - e_{k-\ell}| \leq \varepsilon_0. \quad (1)$$

Фрагмент программной реализации условия (1) имеет вид

```
{выполнение процедуры сортировки sort}
k:=1; while k <= n do begin for L:=1 to k-1 do if abs(e[k]-e[k-L]) <= eps0 then goto 11; ilokmin:= e[k];
11: k:= k+1 end;
```

Здесь  $ilokmin$  – индекс локально минимального элемента в окрестности радиуса  $\varepsilon_0$ ; оператор  $ilokmin := e[k]$ ; выполняется, если входной индекс  $e[k-L]$  любого элемента меньшего  $e[k]$  ( $c_k$ ) располагается от  $e[k]$  дальше, чем на  $\varepsilon_0$ , в этом случае  $e[k]$  – индекс локально минимального элемента  $e[k]$  в окрестности радиуса  $\varepsilon_0$ . Если входной индекс  $e[k-L]$  хотя бы одного элемента  $e[k-L]$  меньшего  $e[k]$  расположен ближе чем на  $\varepsilon_0$  от  $e[k]$ , элемент  $e[k]$  не является минимальным в окрестности радиуса  $\varepsilon_0$  и пропускается путем перехода (`goto 11;`) к следующему номеру  $k$ . На вход сортировки с шагом дискретизации  $h$  поступают значения модуля функции, образующие входную последовательность. Пусть вначале рассматривается аналитическая функция в области поиска нулей. Тогда по принципу минимума модуля в результате выполнения (1) в окрестности радиуса  $\varepsilon_0$  окажется один и только один

корень в некотором приближении. К нему выполняется спуск посредством итеративного сужения диаметра окрестности локализованного приближения до сближения концов диаметра меньше заданной границы абсолютной погрешности. Если функция не является аналитической, то минимум ее модуля идентифицируется непосредственно по построению в силу (1). В этом случае необходимо и достаточно непосредственно проверить значение минимума модуля на совпадение с нулем после окончания вычислений. Данный способ требует, чтобы радиус  $\varepsilon_0$  был выбран и зафиксирован меньше половины расстояния между ближайшими друг к другу соседними минимумами [3, с. 84]. Идентификация средних значений на этой же основе описывается непосредственно ниже. Именно, теорема Лагранжа о среднем значении согласно [1, с. 253] формулируется следующим образом.

**Теорема 1.** Пусть 1) функция  $f(x)$  определена и непрерывна в замкнутом промежутке  $[a, b]$ , 2) существует конечная производная  $f'(x)$ , по крайней мере, в открытом промежутке  $(a, b)$ . Тогда между  $a$  и  $b$  найдется такая точка  $c$  ( $a < c < b$ ), что для нее выполняется равенство

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = f'(c). \quad (2)$$

Нули функции в предлагаемом методе идентифицируются как минимумы модуля функции. Поэтому от (1) выполняется переход к функции

$$\varphi(x) = \left| \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - f'(x) \right|, \quad x \in [a, b], \quad (3)$$

для (3) выполняется поиск минимумов на  $[a, b]$ . Программа (Delphi), реализующая метод, без изменения заимствуется из [3, с. 91], с той разницей, что она идентифицирует нули произвольной функции одной действительной переменной, а не корни полиномов, в таком виде она приводится непосредственно ниже:

```

program KORDEMINfuncLagrangeCauchy;
{$APPTYPE CONSOLE}
uses
  SysUtils;

label 21, 22;
const
  eps=1E-44; eps0=0.000049; h=eps0/40; n00=1512; mm=4;
  x00=-1.2*1.3; x11=2*1.7;
  type vect1=array [0..4*n00] of extended; vect2=array [0..4*n00] of longint;
  var i,j,k,l,ee,nn0: longint;
  aaa,x,x0,x1,xk,xk0,xk1,h0,min,eps1,hh,z,z1: extended; var c:vect1; var e:vect2;
  function func (var x: extended): extended;
  var p,p1,p11,p0,p00,p000:extended;
  begin
    func:=abs((sin(sqrt(x11)-1)-sin(sqrt(x00)-1))/(x11-x00)-2*x*cos(sqrt(x)-1));
  end;
  procedure min1 (var x: extended; var ee:longint);
  begin min:=func(x); ee:=0; for i:=1 to mm do begin
    x:=xk0+i*h0; if min > func(x) then begin min:=func(x); ee:=i; end;end;end;
  procedure sort(var nn0:longint; var c: vect1; var e: vect2);
  type vecc=array[0..4*n00] of longint;
  var ab:integer; i,j,k,l,m,r,nm,p,n: longint; e1, e2: vecc;
  begin
    p := trunc(ln(nn0)/ln(2)); if p <> ln(nn0)/ln(2) then p := p+1;
    n := round(exp(p*ln(2)));
    for l := 1 to n do if l <= nn0 then e[l] := 1 else ab:=1;
    for r := 1 to p do begin m := round(exp(r*ln(2))); nm:=n div m;
    for k := 0 to nm-1 do begin
    for l := 1 to m div 2 do begin
    if (k * m + l > nn0) or (e[k * m + l] > nn0) then ab := 1
    else e1[l] := e[k * m + l];
    if (k * m + m div 2 + l > nn0) or (e[k * m + m div 2 + l] > nn0) then ab := 1
    else e2[l] := e[k * m + m div 2 + l] end;
    i := 1; j := 0; while i + j <= m do begin
    if i = m div 2 + 1 then ab := -1;
    if j = m div 2 then ab := 1;
    if (k * m + i > nn0) or (e[k * m + i] > nn0)
    or (k * m + m div 2 + j > nn0-1) or (e[k * m + m div 2 + j] > nn0)
    then ab:=1;
    if (i <= m div 2) and (j <= m div 2 -1) and (k * m + i <= nn0)
    and (k * m + m div 2 + j <= nn0-1)
    then if (e2[j + 1] > nn0) or (e1[i] > nn0) then ab := 1 else
    begin if c[e2[j + 1]] - c[e1[i]] = 0 then ab := 0;
      if c[e2[j + 1]] - c[e1[i]] > 0 then ab := 1;
      if c[e2[j + 1]] - c[e1[i]] < 0 then ab := -1
    end; if ab >= 0 then
    begin e[k * m + i + j] := e1[i]; i := i + 1 end
    else begin e[k * m + i + j] := e2[j + 1]; j := j + 1 end
  
```

```

end end end end;
begin
aaa:=1e62; nn0:=n00; hh:=nn0*h;
x0:=x00; while x0 <= x11 do
while x0 <= x11 do
begin for i:=1 to nn0 do begin x:=x0+i*h; c[i]:=func(x); end;
sort(nn0, c, e); k:=1; while k<= nn0 do
begin for l := 1 to k-1 do if abs(e[k]-e[k-1]) <= eps0/h then goto 22;
xk:= x0+e[k]*h; eps1:=eps0; xk0:=xk-eps1; xk1:=xk+eps1; h0:=abs(2*eps1)/mm;
while abs(eps1) > eps do begin x:=xk0; minl(x,ee); eps1:=eps1/1.2;
xk0:=xk0+ee*h0-eps1; xk1:=xk0+ee*h0+eps1; h0:=abs(2*eps1)/mm; end;
if func(xk)= 0 then begin x:=xk; goto 21; end;
x:=xk0+ee*h0+eps1;
for i:= 1 to 2 do begin z:=x+i*h; if func(x) >= func(z) then goto 22; end;
for i:= 1 to 2 do begin z1:=x-i*h; if func(x) >= func(z1) then goto 22; end;
if abs(aaa-x)<=1e-20 then goto 22;
21: writeln (' ', x, ', ', (sin(sqrt(x11)-1)-sin(sqrt(x00)-1))/(x11-x00), ' ', 2*x*cos(sqrt(x)-1)); aaa:=x;
22: k:=k+1 end; x0:=x0 + hh end;
readln;
end.

```

**Пример 1.** Программа KORDEMINfuncLagrangeCauchy вычисляет средние точки функции

$$f(x) = \sin(x^2 - 1), \quad x \in [a, b], \tag{4}$$

где  $a = -1.2*1.3$ ,  $b = 2*1.7$ .

Для (4) составляется выражение производной  $f'(x) = 2x \cos(x^2 - 1)$  и komponуется вспомогательная функция  $\varphi(x)$  вида (3), которая в подпрограмме function func (var x: extended): extended; реализуется в виде

```
func:=abs((sin(sqrt(x11)-1)-sin(sqrt(x00)-1))/(x11-x00)-2*x*cos(sqrt(x)-1)).
```

Промежуток  $[a, b]$  в разделе описания констант задается операторами  $x00=-1.2*1.3$ ;  $x11=2*1.7$ ; Результат работы программы:

$c$	$\frac{f(b) - f(a)}{b - a}$	$f'(c)$
-3.09353239416177E-0001	-3.82506294187577E-0001	-3.82506294187577E-0001
1.63942706246943E+0000	-3.82506294187577E-0001	-3.82506294187577E-0001
2.37312244360731E+0000	-3.82506294187577E-0001	-3.82506294187577E-0001
2.98631356653877E+0000	-3.82506294187577E-0001	-3.82506294187577E-0001

В первом столбце выводится точка  $c$  среднего значения из (2). В третьем столбце выводится среднее значение производной  $f'(c)$  из (2). Второй столбец взят для контроля правильности программы: в нем выводится  $\frac{f(b) - f(a)}{b - a}$  из (2). Таким образом, приращение функции совпадает со средним значением.

**Пример 2.** Если промежуток  $[a, b]$  удлинить в 4 раза слева и справа от нуля ( $x00=-1.2*1.3*4$ ;  $x11=2*1.7*4$ ), то для функции (4) получится

$c$	$\frac{f(b) - f(a)}{b - a}$	$f'(c)$
-6.09304693690835E+0000	3.77103058929846E-0002	3.77103058929845E-0002
-5.83009064921545E+0000	3.77103058929846E-0002	3.77103058929845E-0002
-5.55353356335865E+0000	3.77103058929846E-0002	3.77103058929846E-0002
-5.26375527885346E+0000	3.77103058929846E-0002	3.77103058929845E-0002
.....	.....	.....
4.27588227867179E+0000	3.77103058929846E-0002	3.77103058929846E-0002
4.62777245438890E+0000	3.77103058929846E-0002	3.77103058929845E-0002
4.95638468302221E+0000	3.77103058929846E-0002	3.77103058929846E-0002
5.26307467286399E+0000	3.77103058929846E-0002	3.77103058929846E-0002
.....	.....	.....
1.32423493431969E+0001	3.77103058929846E-0002	3.77103058929843E-0002
1.33603358359356E+0001	3.77103058929846E-0002	3.77103058929847E-0002
1.34774988997091E+0001	3.77103058929846E-0002	3.77103058929845E-0002
1.35934463311493E+0001	3.77103058929846E-0002	3.77103058929842E-0002

Если промежуток  $[a, b]$  уменьшить в 4 раза слева и справа от нуля ( $x_{00}=-1.2*1.3/4$ ;  $x_{11}=2*1.7/4$ ), то идентифицируется всего одна средняя точка:

$$c \quad \frac{f(b)-f(a)}{b-a} \quad f'(c)$$

3.10209118743417E-0001 3.83823093645001E-0001 3.83823093645001E-0001

**Пример 3.** Пусть

$$f(x) = e^{-(x^3-1)}, \quad x \in [a, b], \quad (5)$$

тогда  $f'(x) = -3x^2 e^{-(x^3-1)}$ , для (5) komponуется модуль разности вида (3):

$$\text{func} := \text{abs}((\exp(-x_{11} * \text{sqr}(x_{11}) + 1) - \exp(-x_{00} * \text{sqr}(x_{00}) + 1)) / (x_{11} - x_{00}) + 3 * \text{sqr}(x) * \exp(-x * \text{sqr}(x) + 1));$$

и на том же промежутке ( $x_{00}=-1.2*1.3/4$ ;  $x_{11}=2*1.7/4$ ;) результат работы программы примет вид

$$c \quad \frac{f(b)-f(a)}{b-a} \quad f'(c)$$

-3.64904360559138E-0001 -1.13992358309859E+0000 -1.13992358309859E+0000  
3.84671652319215E-0001 -1.13992358309859E+0000 -1.13992358309859E+0000

На малых отрезках в окрестности заданной точки вычисления производной, например, на отрезке  $[a, b] = [3.14 - 0.00001, 3.14 + 0.00001]$  для той же функции получится

$$c \quad \frac{f(b)-f(a)}{b-a} \quad f'(c)$$

3.13999999952860E+0000 -2.88329869261089E-0012 -2.88329869261089E-0012

**Пример 4.** На отрезке  $[a, b] = [2 * \pi - 0.00000001, 2 * \pi + 0.00000001]$  для функции  $f(x) = e^{\sin x}$ ,  $x \in [a, b]$ ,  $f'(x) = \cos x e^{\sin x}$ , получится среднее значение, близкое к значению производной в центре  $[a, b]$ :

$$c \quad \frac{f(b)-f(a)}{b-a} \quad f'(c)$$

6.28318530717959E+0000 1.00000000000000E+0000 1.00000000000000E+0000

Численный эксперимент показывает достоверность работы программы на множестве корректно определенных в условиях теоремы 1 и в языке программирования функций.

Аналогично идентифицируются средние значения формулы Коши. Именно, согласно [1, с. 257] теорема Коши о среднем значении формулируется следующим образом.

**Теорема 2.** Пусть 1) функции  $f(x)$  и  $g(x)$  определены и непрерывны в замкнутом промежутке  $[a, b]$ ; 2) существуют конечные производные  $f'(x)$  и  $g'(x)$ , по крайней мере, в открытом промежутке  $(a, b)$ ; 3)  $g'(x) \neq 0$  в промежутке  $(a, b)$ . Тогда между  $a$  и  $b$  найдется такая точка  $c_0$  ( $a < c_0 < b$ ), что

$$\frac{f(b)-f(a)}{g(b)-g(a)} = \frac{f'(c_0)}{g'(c_0)}. \quad (6)$$

От (6) выполняется переход к функции

$$\tilde{\varphi}(x) = \left| \frac{f(b)-f(a)}{g(b)-g(a)} - \frac{f'(x)}{g'(x)} \right|, \quad x \in [a, b], \quad (7)$$

для которой выполняется поиск минимумов на  $[a, b]$ .

**Пример 5.** Программа KORDEMINfuncLagrangeCauchy согласно (7) вычислит средние точки функций

$$f(x) = \sin(x^2 - 1), \quad x \in [a, b], \quad g(x) = e^{\cos x + 2x}, \quad x \in [a, b], \quad (8)$$

при  $a = -1.2 * 1.3$ ,  $b = 2 * 1.7$ .

Для (8) составляются аналитические выражения производных  $f'(x) = 2x \cos(x^2 - 1)$ ,  $g'(x) = (-\sin x + 2)e^{\cos x + 2x}$ . Из функций и производных компонуется вспомогательная функция  $\tilde{f}(x)$  вида (7). Ее реализация в подпрограмме function func (var x: extended): extended; примет вид:

```
func:=abs((sin(sqrt(x11)-1)-sin(sqrt(x00)-1))/(exp(cos(x11)+2*x11)-exp(cos(x00)+2*x00))-
2*x*cos(sqrt(x)-1)/((2-sin(x))*exp(cos(x)+2*x)));
```

Результат работы программы:

$c_0$	$\frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)}$	$\frac{f'(c_0)}{g'(c_0)}$
-2.68137968046213E-0002	-5.55711882250242E-0003	-5.55711882250242E-0003
1.61631844691806E+0000	-5.55711882250242E-0003	-5.55711882250242E-0003
2.37206383332615E+0000	-5.55711882250242E-0003	-5.55711882250242E-0003
3.02108361296119E+0000	-5.55711882250242E-0003	-5.55711882250242E-0003
3.37147901438510E+0000	-5.55711882250242E-0003	-5.55711882250242E-0003

Согласно эксперименту программа работает правильно на множестве функций, корректно определенных в условиях теоремы 2 и в языке программирования.

**Применение метода для видоизмененных формул Лагранжа и Коши.** Теорема Лагранжа допускает видоизменение, которое связывает между собой приращения и производные двух произвольно взятых и различных между собой функций в точках средних значений. Именно, имеет место

**Предложение 1.** Пусть для функции  $f(x)$  выполнены все условия теоремы 1 в замкнутом промежутке  $[a, b]$ , а для ее производной  $f'(x)$  – в открытом промежутке  $(a, b)$ , и согласно этой теореме  $\exists c$ , такое, что верно равенство

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = f'(c), \quad c \in (a, b). \tag{9}$$

Пусть для некоторой другой функции  $g(x)$  все те же условия выполнены на  $[a, b]$ , для ее производной  $g'(x)$  – на  $(a, b)$ , и, следовательно,  $\exists c_1$ , такое, что верно равенство

$$\frac{g(b) - g(a)}{b - a} = g'(c_1), \quad c_1 \in (a, b). \tag{10}$$

Тогда, если  $g(b) \neq g(a)$  и  $f(b) \neq f(a)$ , то наряду с (9) и (10) верно равенство

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)} \cdot g'(c_1), \quad c_1 \in (a, b). \tag{11}$$

Если в этих условиях  $g'(x) \neq 0 \quad \forall x \in (a, b)$ , то  $\exists c_0$ , такое, что

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{f'(c_0)}{g'(c_0)} \cdot g'(c_1), \quad c_0 \in (a, b), \tag{12}$$

при этом

$$f'(c) = \frac{f'(c_0)}{g'(c_0)} \cdot g'(c_1), \quad c \in (a, b), \tag{13}$$

где три средние точки  $c, c_0, c_1$  из промежутка  $(a, b)$ , вообще говоря, различны.

**Доказательство.** С учетом того, что для всех рассматриваемых в доказываемой теореме функций и их производных выполнены все соответственные условия теорем 1, 2, справедливы следующие элементарные преобразования. Умножение обеих частей (11) на дробь  $\frac{g(b) - g(a)}{f(b) - f(a)}$  влечет (10), умножение обеих частей (10) на  $\frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)}$  влечет (11), так

что эти равенства эквивалентны. Замена в (11)  $\frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)}$  на правую часть (6) влечет (12).

Левая часть (12) совпадает с правой частью (9), что влечет (13). Предложение доказано.

Чтобы вычислить средние точки по формулам (12), (13), вначале надо вычислить дробный коэффициент  $\frac{f'(c_0)}{g'(c_0)}$ . Это получится по теореме Коши согласно формуле (6), если перейти к (7) и подать такую функцию на вход программы KORDEMINfuncLagrangeCauchy.

После нахождения коэффициента нужно составить новую функцию вида

$$\tilde{\varphi}_1(x) = \left| \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - \frac{f'(c_0)}{g'(c_0)} \cdot g'(x) \right|, \quad x \in [a, b] \quad (14)$$

и подать эту функцию на вход той же программы. Искомые средние точки  $c_1$  получатся как нулевые минимумы модуля (14) на  $(a, b)$ , а значение  $g'(c_1)$  получится непосредственной подстановкой  $c_1$  в выражение производной  $g'(x)$ .

**Пример 6.** Пусть взяты функции  $f(x) = e^x$ ,  $x \in [a, b]$  и  $g(x) = 2e^{-x}$ ,  $x \in [a, b]$ . Их производные соответственно  $f'(x) = e^x$  и  $g'(x) = -2e^{-x}$ . Пусть  $[a, b] = [-2\pi, 2\pi]$ .

Функция (7) примет вид

$$\tilde{\varphi}(x) = \left| \frac{e^{2\pi} - e^{-2\pi}}{2e^{-2\pi} - 2e^{2\pi}} - \frac{e^x}{-2e^{-x}} \right|, \text{ или, после преобразования, } \tilde{\varphi}(x) = \frac{1}{2} |1 - e^{2x}|, \quad x \in [-2\pi, 2\pi].$$

В операторах программы func:=abs(1-exp(2\*x))/2; Результат работы программы:

$$c_0 \quad \frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)} \quad \frac{f'(c_0)}{g'(c_0)}$$

-1.35525271560688E-0020 -5.00000000000000E-0001 -5.00000000000000E-0001

Равенство (12) примет вид  $\frac{e^{2\pi} - e^{-2\pi}}{4\pi} = -0.5 \cdot (-2e^{-x})$ .

На вход программы поступит выражение  $\left| \frac{e^{2\pi} - e^{-2\pi}}{4\pi} - e^{-x} \right|$ ,  $x \in [-2\pi, 2\pi]$ , которое в опе-

раторах программы запишется как func:=abs((exp(2\*pi)-exp(2\*(-pi)))/(4\*pi)-exp(-x));

Окончательный результат работы программы:

$$c_1 \quad \frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)} \quad g'(c_1)$$

-3.75215757286186E+0000 -5.00000000000000E-0001 -8.52258467484871E+0001

$$\frac{f'(c_0)}{g'(c_0)} \cdot g'(c_1)$$

4.26129233742435E+0001

Соотношение (13) можно получить непосредственно из формул Лагранжа и Коши. Если в условиях теоремы 3 выполнено (9) и (10), то деление левых и правых частей повлечет

$$\frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)} = \frac{f'(c)}{g'(c_1)}, \quad c \in (a, b), \quad c_1 \in (a, b).$$

Согласно теореме Коши

$$\frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)} = \frac{f'(c_0)}{g'(c_0)}, \quad c_0 \in (a, b).$$

Отсюда правые части равны,

$$\frac{f'(c)}{g'(c_1)} = \frac{f'(c_0)}{g'(c_0)}, \quad (14)$$

что влечет (13). Ниже последовательность данных соотношений реализуется по программе KORDEMINfuncLagrangeCauchy.

**Пример 7.** Если  $f(x) = 4x + e^{\sin x}$ ,  $g(x) = 5x + e^{\cos x}$ ,  $x \in [-\pi/2, \pi/2]$ , то  $f'(x) = 4 + \cos x e^{\sin x}$ ,  $g'(x) = 5 - \sin x e^{\cos x}$ ,  $x \in (-\pi/2, \pi/2)$ .

Функции вида (3) примут вид  $\varphi(x) = \left| \frac{2\pi + e + 2\pi - e^{-1}}{\pi} - (4 + \cos x e^{\sin x}) \right|$ ,

или,  $\varphi(x) = \left| e - e^{-1} - \pi \cos x e^{\sin x} \right|$ , и, соответственно,

$\varphi_0(x) = \left| \frac{5/2\pi + 1 - (-5/2\pi + 1)}{\pi} - (5 - \sin x e^{\cos x}) \right|$ , или,  $\varphi_0(x) = \left| \sin x e^{\cos x} \right|$ ,  $x \in [-\pi/2, \pi/2]$ .

В программной реализации

первая из функций `func:=abs(exp(1)-exp(-1)-pi*cos(x)*exp(sin(x)))`;

вторая функция, соответственно, `func:=abs(sin(x)*exp(cos(x)))`;

Результаты работы программы KORDEMINfuncLagrangeCauchy для этих функций раздельно приводятся непосредственно ниже

$c$	$\left  \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - f'(c) \right $	$f'(c)$
-2.59086855641386E-0001	0.000000000000000E+0000	4.74815631638363E+0000
1.27963743139017E+0000	0.000000000000000E+0000	4.74815631638363E+0000

и

$c_1$	$\left  \frac{g(b) - g(a)}{b - a} - g'(c_1) \right $	$f'(c_1)$
1.74749833825092E-0045	4.75019297812984E-0045	5.000000000000000E+0000

Левая часть (14) примет значения, располагаемые ниже в третьем столбце:

$c$	$\left  \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - f'(c) \right $	$\frac{f'(c)}{g'(c_1)}$
-2.59086855641386E-0001	0.000000000000000E+0000	9.49631263276725E-0001
1.27963743139017E+0000	0.000000000000000E+0000	9.49631263276725E-0001

То же получится по теореме Коши, именно,

$$\varphi_{00}(x) = \left| \frac{4\pi + e - e^{-1}}{\pi} / \frac{5/2\pi + 1 - (-5/2\pi + 1)}{\pi} - (4 + \cos x e^{\sin x}) / (5 - \sin x e^{\cos x}) \right|,$$

$$\text{или, } \varphi_{00}(x) = \left| \frac{4\pi + e - e^{-1}}{5\pi} - \frac{4 + \cos x e^{\sin x}}{5 - \sin x e^{\cos x}} \right|.$$

В программной реализации –

`func:=abs((4*pi+exp(1)-exp(-1))/(5*pi)-(4+cos(x)*exp(sin(x)))/(5-sin(x)*exp(cos(x))))`.

Результат работы программы:

$c_0$	$\left  \frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)} - \frac{f'(c_0)}{g'(c_0)} \right $	$\frac{f'(c_0)}{g'(c_0)}$
-7.05355879518969E-0002	5.42101086242752E-0020	9.49631263276725E-0001

Тем самым формула (14) на данном примере получила программное подтверждение. Аналогично предложению 1 в дальнейшем приводится видоизменение теоремы Коши.

**Дополнительные видоизменения теорем Лагранжа и Коши.** Связь приращения одной функции с производной другой функции является более общей, чем показано выше. Это иллюстрируют приводимые ниже утверждения.

**Лемма 1.** Пусть для каждой из различных функций  $f(x)$  и  $g(x)$ , а также для их производных выполнены все условия теоремы 1 на промежутке  $[a, b]$ . Тогда, если на этом промежутке равны приращения

$$\frac{f(b)-f(a)}{b-a} = \frac{g(b)-g(a)}{b-a}, \quad (15)$$

то  $\exists c_1$ , такое, что верно равенство

$$\frac{f(b)-f(a)}{b-a} = g'(c_1), \quad c_1 \in (a, b). \quad (16)$$

**Доказательство.** По теореме 1 для функции  $g(x)$  выполнено (10). В силу условия (15) равенство (10) перейдет в равенство (16). Лемма доказана.

Имеет место

**Предложение 2.** Пусть для различных функций  $f(x)$  и  $g(x)$  выполнены все условия теоремы 1 на промежутке  $[a, b]$  и для определенности  $f(b) > f(a)$ . Если  $g(b) \geq f(b)$  и  $g(a) \leq f(a)$ , то  $\exists c_1$  и  $\exists \alpha$ , такие, что выполняется соотношение

$$\frac{f(b)-f(a)}{b-a} = \alpha g'(c_1), \quad c_1 \in (a, b), \quad 0 < \alpha \leq 1. \quad (17)$$

Данное утверждение и соотношение (17) сохраняются в случае  $f(b) < f(a)$ , если  $g(b) \leq f(b)$  и  $g(a) \geq f(a)$ . Кроме того, в рассматриваемых условиях  $\exists c \in (a, b)$ , такое что

$$f'(c) = \alpha g'(c_1), \quad c_1 \in (a, b), \quad 0 < \alpha \leq 1. \quad (18)$$

**Доказательство.** Поскольку функция  $g(x)$  непрерывна, то найдутся точки  $b_1 \leq b$  и  $a_1 \geq a$ , такие, что  $g(b_1) = f(b)$  и  $g(a_1) = f(a)$ . Если  $a_1 = b_1$ , то искомое утверждение непосредственно следует из леммы 1. Пусть рассматривается случай  $a_1 \neq b_1$ . В этом случае на промежутке  $[a_1, b_1]$  для функции  $g(x)$  выполнены все условия теоремы 1, и согласно этой теореме  $\exists c_1 \in (a_1, b_1)$ , такое, что

$$\frac{g(b_1)-g(a_1)}{b_1-a_1} = g'(c_1), \quad c_1 \in (a_1, b_1).$$

Отсюда, с учетом  $g(b_1) = f(b)$ ,  $g(a_1) = f(a)$ ,

$$\frac{f(b)-f(a)}{b_1-a_1} = g'(c_1), \quad c_1 \in (a_1, b_1),$$

и, таким образом,

$$\frac{f(b)-f(a)}{b-a} = \frac{b_1-a_1}{b-a} g'(c_1), \quad c_1 \in (a_1, b_1). \quad (19)$$

Поскольку  $(a_1, b_1) \in (a, b)$ , то  $\alpha = \frac{b_1-a_1}{b-a} \leq 1$ , кроме того,  $0 < b_1-a_1$ , поэтому из (19) следует (17). Случай  $f(b) < f(a)$  при условии  $g(b) \leq f(b)$  и  $g(a) \geq f(a)$  рассматривается аналогично. Равенство (18) следует из теоремы Лагранжа применительно к левой части (17). Предложение доказано.

**Следствие 1.** Пусть для различных функций  $f(x)$  и  $g(x)$  выполнены все условия теоремы 1 на промежутке  $[a, b]$  и для определенности  $f(b) > f(a)$ . Если  $g(b) \geq f(b)$ , но  $f(a) \leq g(a) < f(b)$ , то утверждения теоремы 3 и соотношение (17) сохраняются со следующим видоизменением

$$\frac{f(b)-f(a)}{b-a} = \frac{\alpha}{\beta} g'(c_1), \quad c_1 \in (a, b), \quad 0 < \alpha \leq 1, \quad 0 < \beta \leq 1. \quad (20)$$

Это же утверждение и соотношение (20) сохраняются также в случае  $f(b) < f(a)$ , если  $g(b) \leq f(b)$  и  $f(b) < g(a) \leq f(a)$ . Кроме того, в рассматриваемых условиях  $\exists c$ , такое что

$$f'(c) = \frac{\alpha}{\beta} g'(c_1), \quad c_1 \in (a, b), \quad c \in (a, b), \quad 0 < \alpha \leq 1, \quad 0 < \beta \leq 1. \quad (21)$$



**Доказательство.** Пусть рассматривается случай  $f(b) > f(a)$  при условии  $g(b) \geq f(b)$ , но  $f(a) \leq g(a) < f(b)$ . Пусть  $f(b) - f(a) = \nabla$ . По непрерывности  $g(x)$  найдется промежуток  $[a_1, b_1]$ ,  $a_1 \neq b_1$ ,  $a \leq a_1$ ,  $b_1 \leq b$ , такой, что  $0 < g(b_1) - g(a_1) \leq \nabla$ .

Очевидно,  $g(b_1) - g(a_1) = \beta \nabla$ ,  $0 < \beta \leq 1$ .

На промежутке  $[a_1, b_1]$  для функции  $g(x)$  выполнены все условия теоремы 1. Согласно этой теореме  $\exists c_1 \in (a_1, b_1)$ , такое, что  $\frac{g(b_1) - g(a_1)}{b_1 - a_1} = g'(c_1)$ ,  $c_1 \in (a_1, b_1)$ .

Тогда  $\frac{f(b) - f(a)}{b_1 - a_1} = \frac{1}{\beta} g'(c_1)$ ,  $c_1 \in (a_1, b_1)$ . Отсюда

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{b_1 - a_1}{b - a} \frac{1}{\beta} g'(c_1), \quad c_1 \in (a_1, b_1). \quad (22)$$

Поскольку  $(a_1, b_1) \in (a, b)$ , то  $c_1 \in (a, b)$ ,  $\alpha = \frac{b_1 - a_1}{b - a} \leq 1$ , кроме того,  $0 < b_1 - a_1$ . Поэтому из (22) следует (20).

Случай  $f(b) < f(a)$  при условии  $g(b) \leq f(b)$  и  $f(b) < g(a) \leq f(a)$  рассматривается аналогично. Соотношение (21) – следствие теоремы Лагранжа применительно к левой части (20). Следствие доказано.

Предложение 2 и следствие 1, без требования непрерывности функции  $f(x)$ , обобщает

**Теорема 3.** Пусть функция  $f(x)$  определена на промежутке  $[a, b]$ . Пусть, кроме того, функция  $g(x)$  определена и непрерывна на  $[a, b]$ , и у нее существует конечная производная  $g'(x)$  на  $(a, b)$ . Тогда  $\forall a_1, a \leq a_1 < b, \forall b_1, a_1 < b_1 \leq b, \alpha = \frac{b_1 - a_1}{b - a}$ , и  $\beta = \frac{f(b) - f(a)}{g(b_1) - g(a_1)}$ , при условии  $g(b_1) \neq g(a_1)$ , справедливо утверждение:  $\exists c_1, c_1 \in (a_1, b_1)$ , такое, что

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \alpha \beta g'(c_1). \quad (23)$$

Если, кроме того,  $f(x)$  имеет конечную производную на  $(a, b)$ , то  $\exists c$ , такое что

$$f'(c) = \alpha \beta g'(c_1). \quad (24)$$

**Доказательство.** В условиях рассматриваемой теоремы верно тождество

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{f(b) - f(a)}{g(b_1) - g(a_1)} \cdot \frac{b_1 - a_1}{b - a} \cdot \frac{g(b_1) - g(a_1)}{b_1 - a_1}.$$

На промежутке  $[a_1, b_1]$  для функции  $g(x)$  выполнены все условия теоремы 1.

Поэтому  $\exists c_1 \in (a_1, b_1)$  такое, что  $\frac{g(b_1) - g(a_1)}{b_1 - a_1} = g'(c_1)$ ,  $c_1 \in (a_1, b_1)$ . Отсюда следует (23).

Если, кроме того, функция  $f(x)$  непрерывна на  $[a, b]$  и существует конечная производная  $f'(x)$  на  $(a, b)$ , то по теореме Лагранжа  $\exists c$  такое, что  $\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = f'(c)$ ,  $c \in (a, b)$ , в этом случае (23) перейдет в (24). Теорема доказана.

Теорема 3 дает конструктивную возможность вычислить по программе KORDEMIN-funcLagrangeCauchy среднюю точку и среднее значение для любой функции  $g(x)$  из условий теоремы. Сначала произвольно фиксируются точки  $a_1, b_1$ , в них вычисляются  $g(a_1)$  и  $g(b_1)$ . Затем вычисляются значения дробей  $\beta = \frac{f(b) - f(a)}{g(b_1) - g(a_1)}$  и  $\alpha = \frac{b_1 - a_1}{b - a}$ .

После этого составляется модуль разности  $\left| \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - \alpha \beta g'(x) \right|$ , который в виде подпрограммы-функции func поступает на вход программы при значениях  $x00 = a_1$ ;  $x11 = b_1$ . В результате работы программы идентифицируются искомые средние значения  $c_1 \in (a_1, b_1), g'(c_1)$ . По той же программе  $c \in (a, b), f'(c)$  можно найти, составив  $\left| f'(x) - \alpha \beta g'(c_1) \right|$ ,  $x \in [a, b]$ , или, составив  $\left| f'(x) - \frac{f(b) - f(a)}{b - a} \right|$ ,  $x \in [a, b]$ .

**Пример 8.** Пусть

$f(x) = x + \sin x$ ,  $x \in [a, b]$ ,  $a = -\pi$ ,  $b = \pi$ ;  $g(x) = x - \cos x$ ,  $x \in [a_1, b_1]$ ,  $a_1 = -\pi/2$ ,  $b_1 = \pi/2$ .

В этом случае  $\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{\pi + \sin \pi - (-\pi + \sin(-\pi))}{2\pi} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1$ ;

$\beta = \frac{f(b) - f(a)}{g(b_1) - g(a_1)} = \frac{\pi + \sin \pi - (-\pi + \sin(-\pi))}{\pi/2 - \cos(\pi/2) - (-\pi/2 - \cos(-\pi/2))} = \frac{2\pi}{\pi} = 2$ ;  $\alpha = \frac{b_1 - a_1}{b - a} = \frac{\pi}{2\pi} = \frac{1}{2}$ ;

$g'(x) = 1 + \sin x$ ,  $x \in (-\pi/2, \pi/2)$ .

Таким образом,  $\left| \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - \alpha\beta g'(c) \right| = \left| 1 - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (1 + \sin x) \right| = |-\sin x| = |\sin x|$ .

Для программы KORDEMINfuncLagrangeCauchy задаются границы  $x_0 = -\pi/2$ ;  $x_1 = \pi/2$ ; задается подпрограмма-функция  $\text{func} := \text{abs}(\sin(x))$ ; в результате работы программы получится

$c_1$	$\left  \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - \alpha\beta g'(c_1) \right $	$\alpha\beta g'(c_1)$
-------	--	-----------------------

1.74749833825092E-0045 1.74749833825092E-0045 1.00000000000000E+0000

Иными словами,  $c_1 = 0$ ,  $\alpha\beta g'(c_1) = 1$  и  $\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = 1$ .

Если теперь положить  $\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = 1$ ,  $f'(x) = 1 + \cos x$ ,  $x \in (-\pi, \pi)$ ,

$\left| \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - (1 + \cos x) \right| = |-\cos x| = |\cos x|$ , соответственно, выполнить  $x_0 = -\pi$ ;  $x_1 = \pi$ ;

$\text{func} := \text{abs}(\cos(x))$ ; то в результате работы той же программы получится:

$c$	$\left  \frac{f(b) - f(a)}{b - a} - f'(c) \right $	$f'(c)$
-----	--	---------

-1.57079632679490E+0000 2.71050543121376E-0020 1.00000000000000E+0000  
1.57079632679490E+0000 2.71050543121376E-0020 1.00000000000000E+0000

В этом случае получились две средние точки с одинаковым значением в них производной, при этом значение производной совпало с предыдущим результатом, что подтверждает соотношение (24). В данном примере этот результат виден аналитически.

В общем случае теорема Лагранжа следует из теоремы 3 при  $g(x) = f(x)$ ,  $a_1 = a$ ,  $b_1 = b$ , и при условии непрерывности функции  $f(x)$ . Собственно в теореме 3 непрерывность  $f(x)$  для выполнения (23) не требуется.

Аналогично теореме 3 доказывается

**Теорема 4.** Пусть функции  $f(x)$ ,  $g(x)$  определены на промежутке  $[a, b]$  и  $g(b) \neq g(a)$ . Пусть произвольно выбраны функции  $\tilde{f}(x)$ ,  $\tilde{g}(x)$ , которые определены, непрерывны на  $\tilde{f}'(x)$ ,  $\tilde{g}'(x)$ , у них существуют конечные производные  $[a, b]$  на  $(a, b)$ , и при этом  $\tilde{g}'(x) \neq 0 \forall x \in (a, b)$ . Тогда  $\forall a_1, a \leq a_1 < b$ ,  $\forall b_1, a_1 < b_1 \leq b$ , таких, что  $f(b_1) \neq f(a_1)$ ,  $\tilde{f}(b_1) \neq \tilde{f}(a_1)$ , при значениях  $\alpha = \frac{f(b) - f(a)}{f(b_1) - f(a_1)}$ ,  $\beta = \frac{\tilde{g}(b_1) - \tilde{g}(a_1)}{g(b) - g(a)}$  и  $\Delta = \frac{f(b_1) - f(a_1)}{\tilde{f}(b_1) - \tilde{f}(a_1)}$ , справедливо утверждение:  $\exists c_1, c_1 \in (a_1, b_1)$ , такое, что

$$\frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)} = \alpha\beta\Delta \frac{\tilde{f}'(c_1)}{\tilde{g}'(c_1)}. \quad (25)$$

Если, кроме того,  $\tilde{f}(x)$  имеет конечную производную на  $(a, b)$ , причем  $\tilde{f}'(x) \neq 0 \forall x \in (a, b)$ , то  $\exists \tilde{c}, \tilde{c} \in (a_1, b_1)$ , такое, что

$$\frac{f(b) - f(a)}{g(b) - g(a)} = \alpha\beta \frac{f'(\tilde{c}) \tilde{f}'(c_1)}{\tilde{f}'(\tilde{c}) \tilde{g}'(c_1)}. \quad (26)$$

Если помимо этого  $g(x)$  имеет конечную производную на  $(a, b)$ , причем  $g'(x) \neq 0 \quad \forall x \in (a, b)$ , то  $\exists c, c \in (a, b)$ , такое, что

$$\frac{f'(c)}{g'(c)} = \alpha\beta \frac{f'(\tilde{c}) \tilde{f}'(c_1)}{\tilde{f}'(\tilde{c}) \tilde{g}'(c_1)}. \tag{27}$$

**Доказательство** опирается на тождественные преобразования

$$\frac{f(b)-f(a)}{g(b)-g(a)} = \frac{f(b)-f(a)}{f(b_1)-f(a_1)} \frac{\tilde{g}(b_1)-\tilde{g}(a_1)}{g(b)-g(a)} \frac{f(b_1)-f(a_1)}{\tilde{f}(b_1)-\tilde{f}(a_1)} \frac{\tilde{f}(b_1)-\tilde{f}(a_1)}{\tilde{g}(b_1)-\tilde{g}(a_1)},$$

и

$$\frac{f(b)-f(a)}{g(b)-g(a)} = \alpha\beta \frac{f(b_1)-f(a_1)}{\tilde{f}(b_1)-\tilde{f}(a_1)} \frac{\tilde{f}(b_1)-\tilde{f}(a_1)}{\tilde{g}(b_1)-\tilde{g}(a_1)}, \tag{28}$$

с переходом в правой (затем левой) части (28) к отношениям производных согласно теореме Коши, что влечет соответственно (25), (26) и (27).

Как нетрудно видеть, из теоремы 4 следуют теорема 3, а также теоремы 2 и 1.

**О численном решении функциональных уравнений на основе устойчивой адресной сортировки.** В представленных применениях метода на вход подавался модуль разности, например, из (3):

$$\varphi(x) = \left| \frac{f(b)-f(a)}{b-a} - f'(x) \right|, \quad x \in [a, b].$$

Метод имеет более общий характер – он применим для любых корректно заданных функций. В случае формулы Лагранжа функция  $\varphi(x)$  означала разновидность поиска минимума модуля функции

$$\tilde{\varphi}(x) = |C - f'(x)|, \quad x \in [a, b],$$

где  $C = \text{const}$  – произвольно заданное число. В рассмотренных случаях  $C = \frac{f(b)-f(a)}{b-a}$ .

В случае формулы Коши рассматривалась константа  $\tilde{C} = \frac{f(b)-f(a)}{g(b)-g(a)}$  и функция

$$\tilde{\varphi}_0(x) = \left| \tilde{C} - \frac{f'(x)}{g'(x)} \right|, \quad x \in [a, b].$$

В общем случае, если на вход метода подавать функцию

$$\tilde{\varphi}_{00}(x) = |F(x) - \tilde{f}(x)|, \quad x \in [a, b], \tag{29}$$

где обе функции под знаком модуля такие, что обосновано существование корня их разности, например, обе эти функции аналитические, то на основе программы KORDEMINfuncLagrangeCauchy будут идентифицированы все корни функции  $\tilde{\varphi}_{00}(x)$ , то есть все решения функционального уравнения

$$F(x) = \tilde{f}(x), \quad x \in [a, b]. \tag{30}$$

**Пример 9.** Пусть рассматривается уравнение  $\sin(x) = \cos(x)$ ,  $x \in [-\pi, \pi]$ . На вход метода подается  $|\sin(x) - \cos(x)|$ , ищутся минимумы этой функции. Для программы KORDEMINfuncLagrangeCauchy задаются границы  $x00=-\pi$ ;  $x11=\pi$ ; определяется подпрограмма-функция  $\text{func}:=\text{abs}(\sin(x)-\cos(x))$ ; в результате работы программы получится:

$x$	$ \sin(x) - \cos(x) $
-2.35619449019234E+0000	1.62630325872826E-0019
7.85398163397448E-0001	5.42101086242752E-0020

Если вывести  $x/\pi$ , то результат примет вид

$x/\pi$	$ \sin(x) - \cos(x) $
-7.500000000000000E-0001	1.62630325872826E-0019
2.500000000000000E-0001	5.42101086242752E-0020

В правой и левой частях (30) могут быть заданы производные любого порядка.

**Пример 10.**

Пусть  $P_4(x) = \frac{1}{4}x^4 - x$  и  $P'_4(x) = x^3 - 1$ . Требуется решить уравнение  $P_4(x) = P'_4(x)$ , то есть найти действительные корни этого уравнения. Составляется модуль разности

$$\tilde{\Phi}_{00}(x) = \left| \frac{1}{4}x^4 - x - (x^3 - 1) \right|, \text{ или, } \tilde{\Phi}_{00}(x) = \left| \frac{1}{4}x^4 - x^3 - x + 1 \right|, x \in [a, b].$$

Для программы KORDEMINfuncLagrangeCauchy задаются границы  $x_{00} = -100$ ;  $x_{11} = 100$ ; определяется функция  $\text{func} := \text{abs}(1/4 * \text{sqr}(\text{sqr}(x)) - x * \text{sqr}(x) - x + 1)$ ; в результате работы программы получится

$$x \quad \left| \frac{1}{4}x^4 - x^3 - x + 1 \right|$$

2.25351769306885E-0001 0.00000000000000E+0000  
1.32879973565507E+0000 8.67361737988404E-0019

Остальные корни комплексные. Границы расположения корней определяются автоматически [4, с. 259; 5, с. 90] и достаточно быстро, если взять увеличенное, например, в 100 раз  $\text{eps} = 0.000049 * 100$ .

**Пример 11.** Если взять полином  $P_4(x) = \frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{2}x^2$  и его производную  $P'_4(x) = x^3 - x$ , то рассматриваемый способ позволяет указать кратность корня с помощью дополнительно разделенного вывода значения полинома и его производной –

$$\tilde{\Phi}_{00}(x) = \left| \frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{2}x^2 - x^3 + x \right|, x \in [-10, 10];$$

$x_{00} = -10$ ;  $x_{11} = 10$ ;  $\text{func} := \text{abs}(1/4 * \text{sqr}(\text{sqr}(x)) - 1/2 * \text{sqr}(x) - x * \text{sqr}(x) + x)$ ;

в результате работы программы получится

$$x \quad \left| \frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{2}x^2 - x^3 + x \right| \quad \frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{2}x^2 \quad x^3 - x$$

-3.51024200364276E-0001 0.00000000000000E+0000 -2.38323813456247E-0001 -2.38323813456247E-0001  
3.58726976475287E-0045 1.12697403393924E-0044 -6.35035236586642E-0089 -1.12697403393924E-0044  
2.71720304028491E-0001 5.42101086242752E-0020 -2.31597975776807E-0001 -2.31597975776807E-0001  
1.35254344107095E+0000 8.67361737988404E-0019 7.24699217892331E+0001 7.24699217892331E+0001

Из второй строки (курсив) видно, что корень  $x = 0$  является корнем одновременно полинома и его производной, тем самым это кратный корень полинома.

Если входную функцию на вход программы определять без модуля, то программа выведет все минимумы этой функции, например

$$\Phi_{11}(x) = e^{\cos^2 x + \sin^2 x + \sin x}, x \in [-4\pi, 4\pi]. \quad (31)$$

Программное представление функции (31)  $\text{func} := \text{exp}(\text{sqr}(\cos(x)) + \text{sqr}(\sin(x)) + \sin(x))$ ; начало и конец промежутка  $x_{00} = -4 * \pi$ ;  $x_{11} = 4 * \pi$ ; подаются на вход программы KORDEMINfuncLagrangeCauchy.

Результат работы программы:

$x$	$e^{\cos^2 x + \sin^2 x + \sin x}$
-7.85398163441007E+0000	1.00000000000000E+0000
-1.57079632723048E+0000	1.00000000000000E+0000
4.71238897994910E+0000	1.00000000000000E+0000
1.09955742871286E+0001	1.00000000000000E+0000

Если, для наглядности, выводить  $x/\pi$ , то результат примет вид

$x/\pi$	$e^{\cos^2 x + \sin^2 x + \sin x}$
-2.5000000013865E+0000	1.00000000000000E+0000
-5.00000000138651E-0001	1.00000000000000E+0000
1.49999999986135E+0000	1.00000000000000E+0000
3.49999999986135E+0000	1.00000000000000E+0000

Если на вход метода подать функцию со знаком минус, а вывести результат с обратным знаком, то программа определит все максимумы функции. Для функции (30) на том же промежутке получится  $\text{func} := -\exp(\sqrt{\cos(x)} + \sqrt{\sin(x)} + \sin(x))$ ; результат работы программы:

$x$	$-(-e^{\cos^2 x + \sin^2 x + \sin x})$
-1.09955742879675E+0001	7.38905609893065E+0000
-4.71238898078796E+0000	7.38905609893065E+0000
1.57079632639162E+0000	7.38905609893065E+0000
7.85398163357121E+0000	7.38905609893065E+0000

Если, для наглядности, выводить  $e^{\cos^2 x + \sin^2 x + \sin x} / e^2$ , то результат примет вид

$x$	$-(-e^{\cos^2 x + \sin^2 x + \sin x}) / e^2$
-1.09955742879675E+0001	1.00000000000000E+0000
-4.71238898078796E+0000	1.00000000000000E+0000
1.57079632639162E+0000	1.00000000000000E+0000
7.85398163357121E+0000	1.00000000000000E+0000

Все экстремумы определяются по местоположению и по значению.

Метод в целом переносится на функции двух [4, с. 255] и нескольких переменных [6, с. 6], при поиске корней функций метод переносится на случай функций комплексных переменных [4, с. 255]. При поиске действительных корней полиномов степени 12880 и выше корни идентифицируются с сохранением всех значащих цифр мантисс в формате представления данных при взаимной отделенности корней на 0.0001 [5, с. 92]. Все комплексные корни полинома с комплексными коэффициентами степени 220 идентифицируются с сохранением всех значащих цифр мантисс действительной и мнимой частей в формате представления данных в случае взаимной отделенности корней на 0.1 [5, с. 99].

**О возможных применениях метода.**

Предложенная идентификация средних значений применима при вычислении интегралов и производных на основе кусочной интерполяции функции (в частности, на каждом подынтервале приближения) [7, с. 41]. Другое применение возможно для приближенного решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений в случае использования варьируемого кусочно-интерполяционного решения задачи Коши (также на каждом подынтервале приближения решения и производной) [8, с. 1642]. Непосредственное применение метода целесообразно для компьютерного анализа устойчивости в смысле Ляпунова решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Так, в [2, с. 51] приводится необходимое и достаточное условие устойчивости в терминах средних точек формулы Лагранжа. Во всех этих применениях предметом особого внимания должна быть погрешность интерполяции. Сам по себе

предложенный метод выполняет только сортировку и спуск к локализованным значениям, при этом выполняются исключительно операции сравнения, чем обходится накопление погрешности. Погрешность возникает лишь при вычислении значений входной функции, в дальнейшем она не накапливается. Для линейных систем с постоянными коэффициентами базовый критерий устойчивости использует корни характеристического полинома и определение их кратности [9, с. 86; 10, с. 134], что достигается на основе охарактеризованного обобщения метода. В свою очередь, анализ устойчивости имеет широко известные технические и технологические применения [11, с. 3; 12, с. 7; 13, с. 83]. Относительно математического обоснования предложенного метода необходимо отметить следующее. Применение предложенного метода непосредственно для идентификации средних значений основано на существовании точек средних значений в условиях теорем Лагранжа и Коши. При видоизменении формул в условиях теоремы 3 существование точек средних значений для функций правой части (23) вытекает из теоремы Лагранжа. Для приращения левой части (23) эти точки переводятся в точки средних значений с помощью тривиально конструируемых коэф-

$$\text{фициентов } \alpha = \frac{b_1 - a_1}{b - a} \text{ и } \beta = \frac{f(b) - f(a)}{g(b_1) - g(a_1)}.$$

Аналогичное утверждение можно сделать относительно существования точек средних значений в условиях теоремы 4. Собственно процесс программной идентификации искомым точек основан на построении алгоритма идентификации экстремальных элементов последовательности согласно (1). В более общем случае решения уравнений вида (30) метод опирается на принцип минимума

модуля [14, с. 284; 15, с. 361], вследствие которого аналитическая функция под знаком модуля в (29) может достигать минимума модуля только в случае, если она обращается в нуль. Существует принципиальная возможность применения метода на основе теорем о средних значениях несобственных интегралов [16, с. 600].

### Заключение

Изложен компьютерный метод идентификации средних значений по формулам Лагранжа и Коши. Метод основан на сортировке слиянием по матрицам сравнений. Сортировка устойчива, обладает взаимно однозначным соответствием входных и выходных индексов отсортированных элементов, ее применение позволяет избежать накопления погрешности. Предложены модификации формул Лагранжа и Коши, при которых от входной функции не требуется непрерывность на промежутке приращения. Метод является частным случаем общего метода решения функциональных уравнений, особенности его применения иллюстрируются на сравнительно большом количестве наглядных примеров.

### Список литературы

1. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 1. СПб.: Лань, 2018. 608 с.
2. Ромм Я.Е. Об условиях устойчивости с обратной пропорцией начальным значениям решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 9. С. 31–60. DOI: 10.17513/snt.39760.
3. Ромм Я.Е. Идентификация нулей и экстремумов функций на основе сортировки с приложением к анализу устойчивости. I. Случай одной действительной переменной // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 6-1. С. 79–97. DOI: 10.17513/snt.38075.
4. 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.
5. 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.
6. Заика И.В. Разработка и исследование схем оптимизации на основе алгоритмов сортировки с приложением к идентификации экстремумов решений дифференциальных уравнений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Таганрог: ТРТУ, 2007. 19 с.
7. Джанунц Г.А. Методы обработки данных в информационно-вычислительных системах для моделей периодических процессов: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Таганрог: ЮФУ, 2023. 41 с.
8. Джанунц Г.А., Ромм Я.Е. Варьируемое кусочно-интерполяционное решение задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений с итерационным уточнением // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2017. Т. 57, № 10. С. 1641–1660.
9. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. М.: Наука – всем, 2019. 480 с.
10. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2010. 558 с.
11. Любимов В.В. Математическая теория устойчивости с приложениями. СПб.: Лань, 2018. 180 с.
12. Масина О.Н., Дружинина О.В., Рапопорт Л.Б. Элементы теории устойчивости математических моделей управляемых систем. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2019. 143 с.
13. Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Рапопорт Л.Б. Математическая теория автоматического управления. М.: ЛЕНАНД, 2019. 500 с.
14. Маркушевич А.И. Краткий курс теории аналитических функций. М.: Мир, 2006. 336 с.
15. Привалов И.И. Введение в теорию функций комплексного переменного. М.: Лань-Пресс, 2020. 442 с.
16. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 2. СПб.: Лань, 2019. 800 с.

УДК 004.6:004.75  
DOI

## РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАЦИИ МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ В ПРОЕКТАХ РАЗРАБОТКИ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

<sup>1</sup>Савина А.Г., <sup>1</sup>Малявкина Л.И., <sup>2</sup>Агейчев А.И.

<sup>1</sup>*Среднерусский институт управления – филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»,*

*Орел, e-mail: angen1976@mail.ru, ludamal20@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*ООО «БИНОМ», Орел, e-mail: info@binomrel.ru*

Цель исследования состоит в разработке на платформе «1С: Предприятие» информационной системы для автоматизированного мониторинга и учета рабочего времени выполнения задач в проектах разработки и сопровождения программного обеспечения, а также оптимизации процессов информационного обмена между участниками проектной деятельности. Конфигурация включает два модуля: «Мониторинг и учет времени на реализацию отдельного проекта в разрезе этапов и задач» и «Мониторинг и учет рабочего времени ИТ-специалиста по матричной модели при условии его одновременного участия в реализации нескольких проектов». Непосредственно в самой конфигурации с использованием платформенного механизма «Система взаимодействия» организовано взаимодействие участников проектной деятельности в рамках ИТ-компании в чатах и обсуждениях. Информационный обмен с внешним окружением проекта реализован посредством интеграции конфигурации с API мессенджера Telegram с помощью Telegram-бота. Каждый из двух модулей в сочетании с настроенной системой взаимодействия может быть использован как отдельное прикладное решение в зависимости от специфики ИТ-проекта. Предметно-ориентированная направленность технологической платформы «1С: Предприятие» в сочетании с платформенными механизмами ее архитектуры позволила реализовать выделенные в рамках исследования функциональные требования и адаптировать прикладное решение к специфике автоматизируемого бизнес-процесса. Использование прикладного решения в проектах разработки и сопровождения программного обеспечения в экосистеме «1С: Предприятие» позволит руководству ИТ-компаний оптимизировать затраты на реализацию проектов, повысить эффективность контроля качества работы сотрудников и обоснованность принятия управленческих решений, в том числе при оценке проектов внедрения, а разработчикам – эффективно распределять и контролировать рабочее время. Для заказчиков такая система обеспечит прозрачность процессов реализации проектов и обоснования инвестиционных затрат.

**Ключевые слова:** мониторинг и учет рабочего времени, технологическая платформа «1С: Предприятие», конфигурация, ИТ-проект, участники проектной деятельности, информационный обмен, Telegram-бот

## DEVELOPMENT OF A CONFIGURATION FOR MONITORING THE WORKING TIME OF TASKS IN SOFTWARE DEVELOPMENT AND MAINTENANCE PROJECTS

<sup>1</sup>Savina A.G., <sup>1</sup>Malyavkina L.I., <sup>2</sup>Ageychev A.I.

<sup>1</sup>*Central Russian Institute of Management – branch of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Orel,*

*e-mail: angen1976@mail.ru, ludamal20@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*LLC «BINOM», Orel, e-mail: info@binomrel.ru*

The purpose of the research is to develop an information system on the 1C: Enterprise platform for automated monitoring and accounting of working hours for completing tasks in software development and support projects, as well as optimizing the processes of information exchange between participants in project activities. The configuration includes two modules: “Monitoring and accounting of time for the implementation of a separate project in the context of stages and tasks” and “Monitoring and accounting of the working time of an IT specialist according to a matrix model, provided that he simultaneously participates in the implementation of several projects.” Directly in the configuration itself, using the platform mechanism “Interaction System”, the interaction of project participants within the IT company in chats and discussions is organized. Information exchange with the external environment of the project is implemented by integrating the configuration with the Telegram messenger API using a Telegram bot. Each of the two modules in combination with a customized interaction system can be used as a separate application solution, depending on the specifics of the IT project. The subject-oriented orientation of the 1C: Enterprise technology platform, combined with the platform mechanisms of its architecture, made it possible to implement the functional requirements identified in the framework of the study and adapt the application solution to the specifics of the automated business process. The use of an application solution in software development and maintenance projects in the 1C: Enterprise eco-system will allow the management of IT companies to optimize the costs of project implementation, increase the effectiveness of employee quality control and the validity of management decisions, including when evaluating implementation projects, and developers to effectively distribute and control-to schedule working hours. For customers, such a system will ensure transparency of project implementation processes and justification of investment costs.

**Keywords:** monitoring and accounting of working hours, 1C: Enterprise technology platform, configuration, IT project, project participants, information exchange, Telegram bot

### Введение

В современных условиях реализации стратегии импортозамещения в целях обеспечения национальной технологической независимости и суверенитета ИТ-отрасль относится к ключевым отраслям, развитие которых системно поддерживается государством. При этом одной из самых сложно решаемых проблем остается продолжающийся рост дефицита ИТ-специалистов. Несмотря на предпринимаемые меры государственной поддержки и достаточно высокий среднеотраслевой уровень оплаты труда, объем вакансий на рынке труда, по оценкам Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, в настоящее время составляет порядка 700 тыс. чел. Высокий спрос на квалифицированных сотрудников в отрасли находит свое отражение в особенностях организации их трудовой деятельности и оплате труда [1]. Работодатели в целях привлечения и удержания специалистов, обладающих высоким уровнем профессиональной компетентности, предлагают различные формы организации труда и способов его оплаты [2]. Ряд предприятий использует стандартный вариант заключения трудового договора с полной занятостью. Другие для организации деятельности применяют работу «в режиме гибкого рабочего времени», полную или частичную занятость, работу по совместительству [3]. Следует отметить, что выполнение трудовых функций ИТ-специалиста зачастую не требует его физического присутствия в офисе, в связи с чем ему может быть предоставлен удаленный режим работы [4]. Кроме того, спецификой ИТ-сферы является и вариативность применяемых работодателями способов оплаты труда. Это может быть оплата по окладу, оплата за фактически отработанное время (повременная) и их сочетание, оплата за фактически выполненные задачи и проекты и др. Применяются различные способы оценки производительности и планирования труда в условиях командной работы разработчиков над ИТ-проектом [5, 6]. Несмотря на вариативность, в каждом из рассмотренных случаев необходимо вести учет рабочего времени и проводить его мониторинг.

Как показали проведенные исследования, для ИТ-компаний, основным видом деятельности которых является разработка и сопровождение программного обеспечения, грамотно организованная система учета временных затрат выступает основой принятия управленческих решений. При этом задачи учета рабочего времени

ИТ-специалистов можно классифицировать с позиций участников этих процессов (рис. 1).

Значимость процессов учета рабочего времени с точки зрения непосредственно ИТ-компаний можно рассматривать с позиций осуществления мониторинга текущих проектов, накопления статистической информации для оценки будущих проектов и организации эффективного управления ресурсами. Определение фактической трудоемкости задачи/этапа/проекта служит одним из параметров для оценки себестоимости проекта и обоснования инвестиционных затрат. Учет времени способствует организации контроля работы сотрудников и помогает отслеживать сроки исполнения задач/этапов/проектов посредством сравнения планируемого/оценочного и фактического затраченного времени и выявлять причины выявленных отклонений. Грамотно организованный процесс учета рабочего времени в ИТ-компаниях является обоснованием начисления заработной платы, особенно в тех компаниях, где применяется почасовая оплата труда. Система учета и контроля времени работы ИТ-специалиста при использовании матричной модели предполагает учет времени по каждому из проектов, в реализации которых он принимает участие, и позволяет оценить эффективность трудового вклада каждого участника в его реализацию. Накопление массива исторических данных по завершённым проектам используется в целях их анализа и последующего обоснования договорных цен будущих проектов, составления смет и оптимизации затрат/себестоимости при их реализации, оценки эффективности проекта. Планирование объемов работ, сроков реализации и оптимизация метрик для оценки предстоящих проектов, как правило, производится на основании анализа данных по аналогичным ранее выполненным проектам. Учет времени является одним из условий организации эффективного управления ресурсами ИТ-компаний, поскольку позволяет планировать распределение трудовых ресурсов, рассчитывать загруженность сотрудников, оптимально распределять нагрузку между исполнителями проектных групп.

При организации взаиморасчетов с заказчиком в практике современных ИТ-компаний используют два варианта моделей оценки стоимости проектных работ: Time&Material (T&M, время и материалы) и Fixed Price (модель фиксированной цены). В зависимости от этого цели учета рабочего времени задействованных в реализации проектов ИТ-специалистов будут различны.





Рис. 1. Задачи учета рабочего времени ИТ-специалистов

Если применяется модель Time&Material (T&M), учет времени организуется в целях определения фактической стоимости решенных задач / выполненных этапов проекта для выставления счетов заказчику. Фактическая стоимость проекта рассчитывается как произведение фактически затраченного специалистом количества часов на фиксированную почасовую ставку раз-

работчика. При использовании в компании или проекте модели Fixed Price целью учета временных затрат становится расчет фактической себестоимости реализации проекта и оценки его рентабельности.

Немаловажен учет рабочего времени и с точки зрения конкретного сотрудника компании. Являясь средством организации личного тайм-менеджмента, этот процесс

позволяет фиксировать параметры объемов и количества выполненных и предстоящих задач, планировать рабочее время и эффективно распределять его с учетом приоритетности работ, оценивать объем работ за прошедшие и предшествующий период (день, неделя, месяц и т.д.) [7]. Кроме того, возможность учета рабочего времени является своего рода мотивационным компонентом организации деятельности ИТ-специалиста, поскольку позволяет объективно оценить личную производительность, самооэффективность и дисциплинировать себя с точки зрения сроков выполнения поставленных задач, фиксации их содержания и объема требующихся для их исполнения работ.

Таким образом, детализированный учет рабочего времени в проектах разработки и сопровождения программного обеспечения целесообразен для всех участников: для самого разработчика это организационно-мотивирующий фактор эффективного распределения рабочего времени; для заказчика – гарантия прозрачности процессов реализации проектов и обоснование инвестиционных затрат; для руководителя ИТ-компании – инструмент оценки эффективности контроля качества работы сотрудников, оптимизации затрат и повышения обоснованности принятия управленческих решений.

**Цель исследования** состоит в разработке на платформе «1С: Предприятие» конфигурации для автоматизированного мониторинга и учета рабочего времени выполнения задач в проектах разработки и сопровождения программного обеспечения, а также оптимизация процессов информационного обмена с использованием платформенного механизма «Система взаимодействия».

#### **Материалы и методы исследования**

В рамках предпроектного исследования предметной области авторами был проведен теоретический анализ и синтез различных подходов и концепций организации учета рабочего времени специалистов ИТ-сферы, классификация задач учета временных затрат при реализации ИТ-проектов с позиций участников и заинтересованных сторон. Информационной базой для решения поставленной задачи выступили нормативно-правовые акты и документы, регламентирующие организацию системы учета рабочего времени сотрудников; результаты теоретико-методологических исследований, посвященных особенностям кадровой политики и оформления трудовых отношений с ИТ-специалистами [1, 3], проблемам управления эффективностью труда и инструментам их удержания в условиях

кадрового дефицита в отрасли информационных технологий [2, 4, 8], организации мониторинга и учета времени выполнения задач в проектах разработки и сопровождения программного обеспечения [5–7], а также результаты обработки примененных авторами эмпирических методов (опрос непосредственных участников реализации ИТ-проектов, интервьюирование пользователей программных продуктов и инструментальных средств по учету рабочего времени в ИТ-компаниях и др.).

Следующий этап был посвящен исследованию функционала программных продуктов и инструментальных средств для мониторинга и учета рабочего времени, представленных в сегменте современного рынка ИТ-решений. Установлено, что для мониторинга времени работы ИТ-специалиста использование программных продуктов, автоматически фиксирующих время, проведенное в определенной среде разработки и на веб-ресурсе, ведущих запись экрана или контролирующих частоту нажатия на клавиши, является нецелесообразным. Наряду с процедурами разработки и написания программного кода профессия программиста включает регламентирующую составляющую, связанную с процессом устранения ошибок, и творческую, определяемую поиском вариантов решения поставленной задачи, разработкой интерфейса программного продукта и т.д. [8]. Поэтому следует брать во внимание, что его пребывание на рабочем месте не может быть оценено исключительно количеством строк написанного программного кода. В этой связи при применении полностью автоматизированных трекингов часть рабочего времени, проведенная, к примеру, не в среде разработки, а в общении на профессиональных форумах, творческих поисках вариантов решения задач и др., может быть воспринята работодателем как нецелевое использование рабочего времени. Поэтому более оптимальным инструментом учета рабочего времени ИТ-специалиста для обоснования затраченного времени на выполнение определенных работ являются программные продукты, допускающие возможность ручного трекинга и автоматического формирования отчетов по затраченному времени. Решения такого класса должны иметь гибкие настройки для отражения специфики реализуемого проекта, учитывать возможность командной разработки и участия разработчиков в нескольких проектах одновременно, а также особенности деятельности и организации бизнес-процессов самой ИТ-компании. В этой связи выбор методов мониторинга и ИТ-решений для его прове-

дения при условии использования готовых систем учета (к примеру, Harvest, Everhour, Timely, RescueTime и др.) зачастую требует их дополнительных настроек и адаптации. Ряд ИТ-компаний использует для учета рабочего времени программный инструмент Jira, позволяющий планировать рабочие процессы и отслеживать время на выполнение отдельных задач в рамках каждого из них по спринтам (небольшим этапам, итерациям). При этом каждый участник проекта самостоятельно регистрирует в системе затраченное на выполнение задачи время и имеет возможность сопоставить его с запланированным. Однако такая система логирования времени требует доверительных отношений с сотрудниками и периодического выборочного контроля и проверки объективности указанных показателей. Зачастую проведение досконального контроля рациональности использованного ИТ-специалистом времени с записью экрана компьютера, необходимостью строгой фиксации времени начала и окончания работ посредством нажатия на кнопки «Старт» и «Стоп» выступает как раздражающий фактор для самого разработчика. Целесообразность их применения должна быть осознана сотрудниками как необходимый инструмент для оцифровки показателей рабочих процессов, выступающих впоследствии основой для принятия управленческих решений. Первостепенная задача таких процессов состоит не столько в контроле над самим разработчиком, сколько в применении результатов этого учета для расчета себестоимости проекта, обоснования инвестиционных затрат, использования статистики реализованных проектов при планировании трудовых затрат и оценке новых проектов, для рационального распределения ресурсов и т.д.

В сегменте рынка ИТ-решений для мониторинга и учета рабочего времени представлено широкий спектр тайм-трекингов, систем трекинга задач, систем учета рабочего времени (СУРВ), и систем класса DLP (Data Loss Prevention, Data Leak Prevention, Data Leakage Protection). Их функционал начал расширяться в период пандемийных ограничений и активного развития удаленных форматов работы. Однако не все могут быть использованы для организации учета и мониторинга рабочего времени выполнения задач в проектах разработки и сопровождения программного обеспечения. Как показали результаты обработки данных использованных авторами опросно-диагностических методов, 85% ИТ-компаний организуют мониторинг и учет рабочего времени ИТ-специалистов, используя собственные разработки [9]. Как правило, от-

слеживание времени строится на его ручном мониторинге в разрезе выполняемых задач с последующим внесением информации по проделанной работе в листы учета рабочего времени. Одним из вариантов разработки бизнес-приложения по учету рабочего времени является использование возможностей, инструментов и механизмов технологической платформы «1С: Предприятие». Анализ архитектуры и современных платформенных механизмов системы «1С: Предприятие» в совокупности с изучением системы стандартов и методик, регламентирующих разработку информационных систем на платформе «1С: Предприятие», накопленный опыт и результаты исследований авторов в области разработки конфигураций и применения методов их интеграции с приложениями и веб-сервисами [10–12], стали основой для разработки конфигурации для организации системы мониторинга и учета рабочего времени выполнения задач в проектах разработки и сопровождения программного обеспечения.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

По результатам анализа предметной области установлено, что все используемые в современной ИТ-компании варианты мониторинга и учета рабочего времени ИТ-специалиста, затраченного на разработку программного обеспечения, расширение его функционала или консультационную поддержку пользователей в процессе его сопровождения, сводятся к двум базовым подходам: либо производится учет и оценка человеко-часов, затраченных на реализацию проекта в разрезе выделенных этапов и с разбивкой по отдельным задачам, либо производится общая оценка совокупного затраченного на проект времени и определяются агрегированные трудовые затраты всех участников без детализации по конкретным задачам. Общепринятой формой отчетности сотрудников ИТ-компаний является лист учета рабочего времени (ЛУРВ), в котором осуществляется ежедневная фиксация затраченного на выполнение каждой выполненной задачи времени с кратким описанием состава и структуры произведенных при этом работ. В зависимости от формата и специфики организации взаимодействия и системы взаиморасчетов ИТ-компания с заказчиком, ЛУРВ может выполнять различное функциональное назначение. Например, если взаиморасчеты с заказчиком строятся на почасовой оплате заказчиком времени специалиста, затраченного на решение поставленной задачи, то согласованные и подписанные заказчиком ЛУРВ

служат основанием для выставления счета для оплаты заказчиком выполненных работ и начисления заработной платы исполнителю. Если производится общая оценка реализованного в проекте функционала и оплата общей стоимости работ по проекту, то в данном случае целью оформления ЛУРВ является оценка доли трудозатрат каждого участника в проекте и соответствующего распределения оплаты. В случае если ИТ-специалист имеет ежемесячный оклад, то заполнение ЛУРВ в большей степени служит для оценки эффективности его работы и соответствия фактических сроков исполнения задач установленным плановым показателям.

В каждом из рассмотренных вариантов заполнение ЛУРВ является производственной необходимостью и требует применения соответствующих инструментальных

средств, автоматизирующих этот процесс или позволяющих по крайней мере вести автоматизированный мониторинг и учет времени. В качестве типовых сценариев организации этих процессов целесообразно рассмотреть два:

1) оценку и учет времени, затраченного разработчиком на реализацию отдельного проекта в разрезе выделенных этапов проекта и его отдельных задач;

2) учет временных затрат ИТ-специалиста при условии многозадачности, то есть в случае если сотрудник компании параллельно участвует в нескольких проектах разработки или сопровождения программного обеспечения.

С учетом этого в рамках исследования были определены функциональные требования к разрабатываемой конфигурации (таблица).

#### Функциональные требования к разрабатываемой конфигурации

Функциональная область автоматизации	Функциональное требование к конфигурации «Конфигурация должна...»
Мониторинг и учет времени на реализацию отдельного проекта в разрезе этапов и задач F1	<p><b>F1.1</b> Хранить информацию по реализуемому проекту с возможностью его описания в разрезе заказчиков с указанием даты начала, планируемого срока реализации и даты фактического завершения.</p> <p><b>F1.2</b> Предусматривать возможность выделения этапов реализации проекта, их описания, указания планируемых и фактических сроков реализации и автоматического расчета времени, затраченного на его выполнение.</p> <p><b>F1.3</b> Обеспечивать возможность выделения задач в рамках каждого этапа, с их описанием, указанием планируемых и фактических сроков реализации, изменением статуса и автоматическим хронометражем продолжительности исполнения каждой из них.</p> <p><b>F1.4</b> Обеспечивать возможность работы с прикрепленными файлами относящихся к задаче/этапу/проекту документов, а именно: просмотр, редактирование, печать, отправка по электронной почте непосредственно из конфигурации.</p> <p><b>F1.5</b> Формировать отчет о выполненных в рамках проекта работах с указанием времени исполнения. В отчете должно быть предусмотрено представление информации о времени реализации проекта в разрезе этапов, задач, исполнителей, заказчиков</p>
Мониторинг и учет рабочего времени ИТ-специалиста по матричной модели при условии его одновременного участия в реализации нескольких проектов F2	<p><b>F2.1</b> Вести учет постоянных клиентов или отдельных проектов заказчика с возможностью выделения для каждого клиента (проекта) нескольких задач.</p> <p><b>F2.2</b> Обеспечивать классификацию задач в соответствии с выделенной тематикой в целях последующего анализа способов их решения и статистики временных затрат на их исполнение.</p> <p><b>F2.3</b> Обеспечивать выделение этапов решения задачи и хронометража времени их исполнения при условии, если для нее установлен статус «в работе».</p> <p><b>F2.4</b> Предусматривать возможность переключения между задачами при учете рабочего времени и агрегированного подсчета времени по каждой из них в течение рабочего дня.</p> <p><b>F2.5</b> Фиксировать перечень выполненных работ с описанием сущности и с указанием конкретных действий в ходе решения задач и полученных результатов.</p> <p><b>F2.6</b> Формировать отчет по затраченным на выполнение задач времени в разрезе проекта (клиента), этапов работ и тематик.</p> <p><b>F2.7</b> Обеспечивать возможность поиска задач по ключевым словам в описании и наименовании</p>
Взаимодействие участников проектной деятельности F3	<p><b>F3.1</b> Обеспечивать интерактивное взаимодействие и информационный обмен участников проектных групп непосредственно в конфигурации.</p> <p><b>F3.2</b> Обеспечивать сценарии взаимодействия и обмена данными с внешним окружением (заказчиками) посредством интеграции прикладного решения с Telegram-ботом</p>

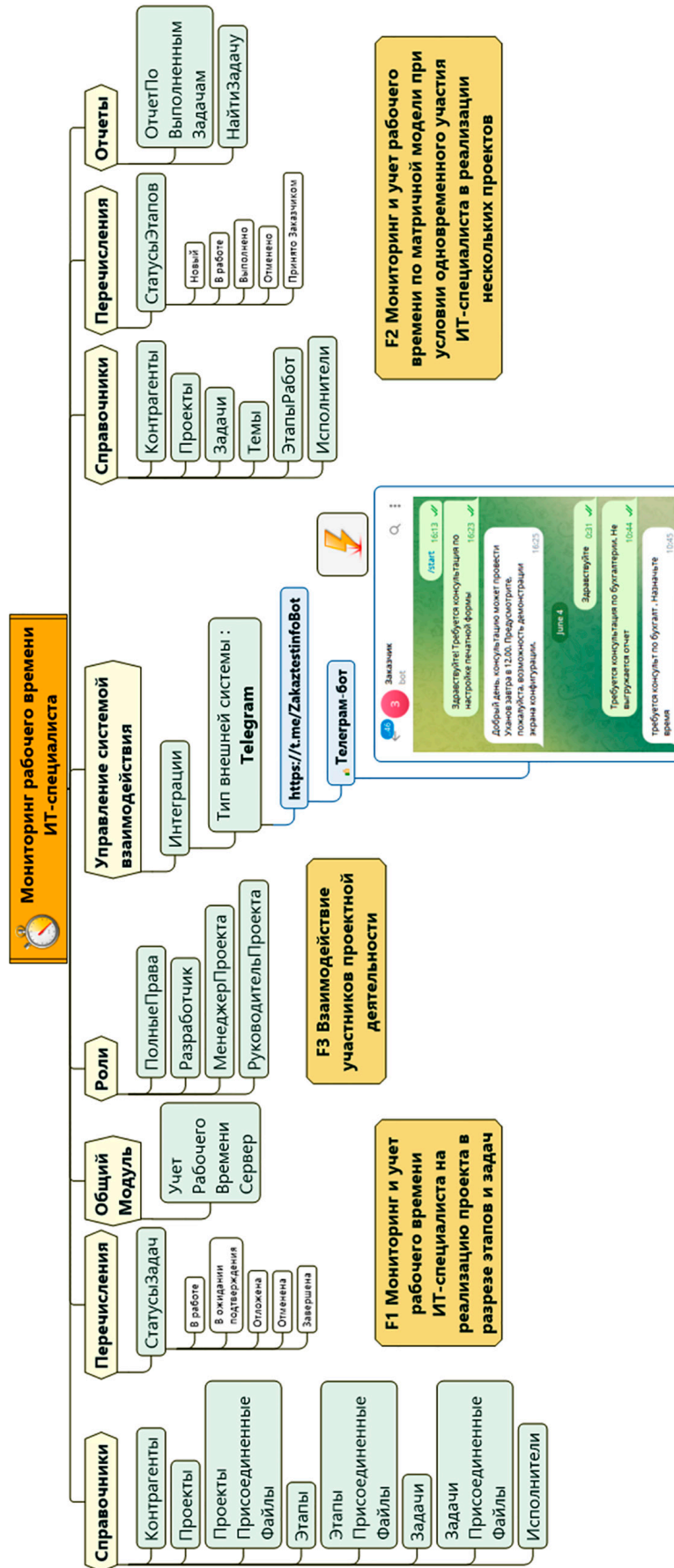


Рис. 2. Общая схема структуры объектов метаданных конфигурации

В качестве инструментального средства разработки выбрана технологическая платформа «1С: Предприятие», предметно-ориентированная направленность которой в сочетании с платформенным построением архитектуры позволит реализовать сформулированные функциональные требования и адаптировать прикладное решение к специфике автоматизируемого бизнес-процесса. По результатам проектирования иерархической структуры объектов разрабатываемой конфигурации и формирования структуры каждого из них в разрезе состава его реквизитов, измерений и табличных частей получено визуальное представление прикладного решения в виде дерева объектов конфигурации (рис. 2).

Для реализации выделенных функциональных требований в разрабатываемой конфигурации созданы два модуля (подсистемы). В первом предусмотрен мониторинг и учет времени реализации отдельного проекта (F1), функциональность второго учитывает специфику мониторинга рабочего времени ИТ-специалиста при его параллельном исполнении задач, относящихся либо к разным проектам одного заказчика, либо к проектам, реализу-

емым по договорам с разными контрагентами (F2).

Учет рабочего времени по отдельному проекту в разрезе задач предполагает использование следующих ключевых понятий:

– этап проекта – часть проекта, по которой определены объем и время выполнения работ, исполнители;

– задачи – совокупность выделенных работ в рамках каждого этапа проекта.

В разработанной конфигурации реализована возможность выделения этапов реализации проекта (F1.2), а также механизм декомпозиции этапа проекта на составляющие его структурные элементы в виде задач (F1.3). Задача представляет собой элемент самого низкого уровня декомпозиции проекта, поэтому именно на ее основе реализовано ключевое требование конфигурации – мониторинг и учет затраченного исполнителем рабочего времени. В процессе выполнения работ в рамках конкретной задачи исполнитель имеет возможность установить ее статус в одно из значений («в ожидании подтверждения», «в работе», «отложена», «отменена», «завершена») и вести хронометраж продолжительности исполнения каждой из них (рис. 3).

☆ **Разработка подчиненных страниц сайта (Задачи) \***

Записать и закрыть
Записать
✎
[Файлы](#)

Наименование:

Этап:

Статус:

Дата начала:

Завершено:

Описание:

Комментарий:

Закончить отсчет времени

**Ход выполнения:**

N	Начало	Окончание
1	16.05.2024 8:16:00	16.05.2024 16:09:00
2	07.06.2024 22:32:00	

Рис. 3. Реализация хронометража выполнения задачи на форме элемента

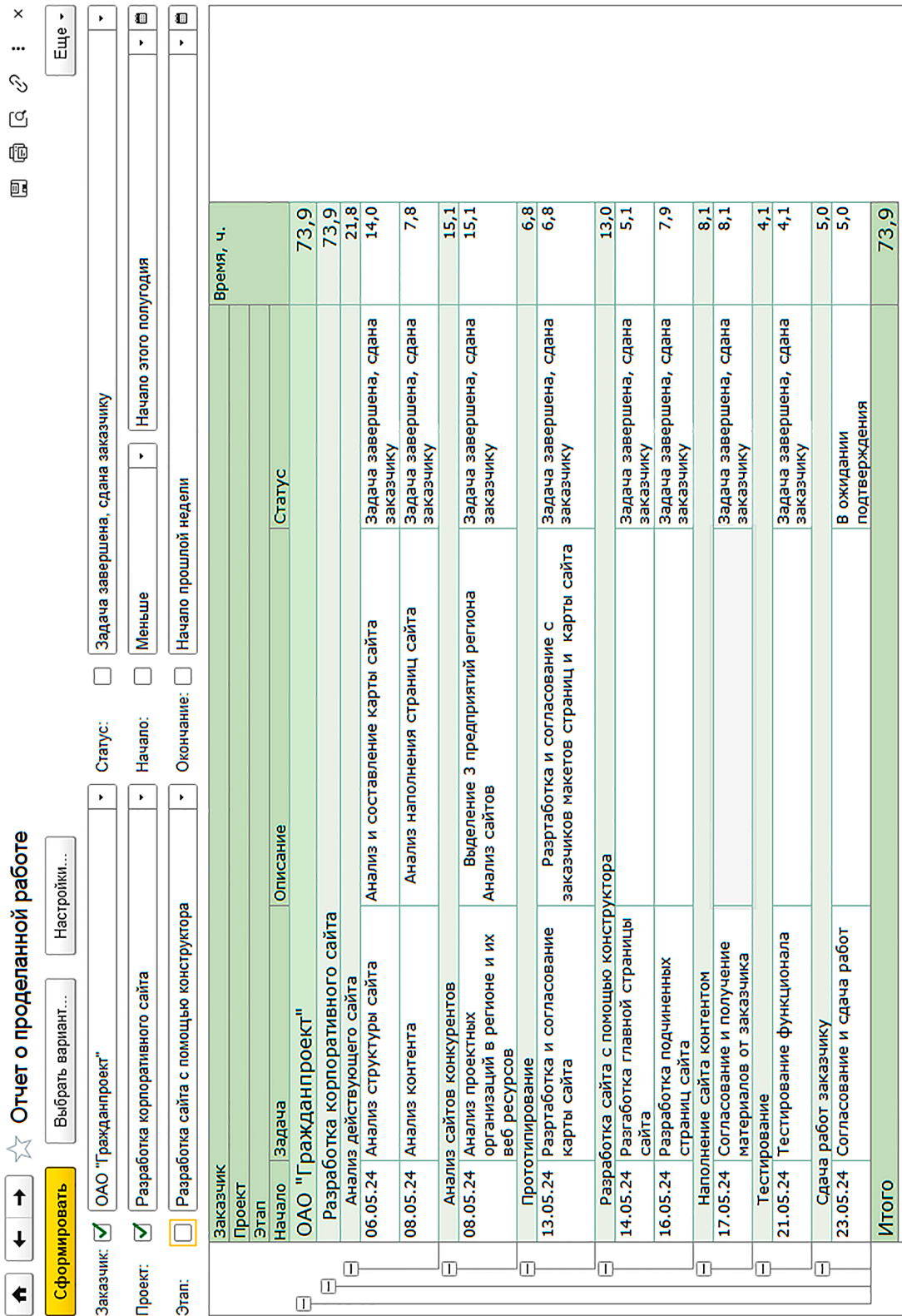


Рис. 4. Форма итогового отчета о времени проектных работ в разрезе этапов и задач

Завершение текущего сеанса работы с задачей и запись данных в информационную базу приводят к автоматическому расчету и отображению суммарного времени выполнения задачи, а также автоматическому агрегированию результирующих данных по каждому этапу исполнения проекта (как суммарного времени выполнения всех входящих в него задач) и по проекту в целом как суммарному времени по всем этапам его реализации с отображением полученных значений как в формах элементов, так и в формах списков объектов конфигурации.

В конфигурации обеспечена возможность работы с прикрепленными файлами относящихся к задаче/этапу/проекту документов (просмотр, редактирование, печать, отправка по электронной почте), что соответствует реализации функционального требования F1.4.

Итоговые сведения о времени исполнения проекта в разрезах задач, этапов, исполнителей и заказчиков вносятся в формируемый в конфигурации Отчет о проделанной работе (рис. 4). В отчете отражены основные этапы реализации проекта, выделенные в рамках каждого из них задачи с описанием действий, обеспечивших достижение поставленной цели, статус задачи и суммарное время, затраченное на ее выполнение. В итоге вычислен обобщенный показатель времени по проекту в целом. Настроенные в отчете параметры отбора позволяют сформировать различные варианты представления итоговых временных затрат исполнителей на выполнение работ в рамках определенного этапа проекта, вывести время исполнения отдельных задач с выбранным статусом, отобразить проекты в соответствии с датой их завершения или реализованные в определенные сроки.

Для реализации в разрабатываемой конфигурации функционального требования F2 «Мониторинг и учет рабочего времени ИТ-специалиста по матричной модели при условии его одновременного участия в реализации нескольких проектов» понятия этапов и задач проекта целесообразно рассматривать в несколько иной интерпретации. Сам проект в конфигурации соотносится с конкретным заказчиком, обслуживаемым на постоянной основе. Каждый проект представляет собой совокупность задач, решаемых для одного заказчика. Задача рассматривается с точки зрения этапов работ, выделенных и выполняемых ИТ-специалистом для ее решения.

Центральным объектом разрабатываемого модуля конфигурации выступает справочник ЭтапыРабот. Именно на основе данного объекта конфигурации реализован

мониторинг и учет рабочего времени исполнителя (исполнителей) задач проекта. По сути, данные этого справочника представляют собой листы учета рабочего времени специалистов. Каждая задача предполагает выделение в ее рамках этапов, соответствующих требуемой для ее выполнения последовательности работ. Этап работ в рассматриваемом контексте является минимальной структурной единицей проекта, поэтому используется для хронометража времени на его исполнение с возможностью получения суммарного времени, затраченного на каждую из них при нажатии на кнопку «Свернуть строки».

По завершению этапов работ с данным статусом в конфигурации предусмотрено формирование отчета по выполненным задачам (рис. 6). В отчете предусмотрены различные варианты отбора представленной в нем информации.

Например, в отчете может быть выведена информация с кратким описанием работ в рамках этапа, а можно получить данные по времени выполнения работ без указанных расшифровок. Возможен вывод отчетной информации о времени выполнения работ по выбранной теме (что может быть удобным инструментом для выставления счетов заказчику по конкретной задаче в рамках проекта); вариант отчета по времени исполнения работ по этапу в разрезе конкретного исполнителя может быть использован для начисления почасовой оплаты специалисту за выполненные работы.

В целях оптимизации внутри- и межпроектного взаимодействия, возможности организации коммуникаций сотрудников ИТ-компаний при совместной удаленной работе, а также упрощения информационного обмена с заказчиками был использован разработанный компанией «1С» механизм «Система взаимодействия». После регистрации прикладного решения на сервере системы взаимодействия в конфигурации был настроен функционал интерактивного взаимодействия в рамках проектных групп команд-разработчиков в виде организации групповых и предметных обсуждений в рамках реализуемых проектов по разработке и сопровождению прикладных решений.

Для организации взаимодействия с заказчиком и консультационной поддержки пользователей сопровождаемых прикладных решений в конфигурации использован один из предлагаемых системой взаимодействия вариантов – настроен обмен данными с внешними пользователями непосредственно из прикладного решения, в качестве канала взаимодействия использован Telegram-бот «Заказчик» (рис. 7).



Обсуждения | Проекты (Клиенты) × | Этапы работ ×

← → ★ **Этапы работ**

☆ **Этап 1, Изучение ТЗ от онлайн сервиса (Этапы работ) \***

**Записать и закрыть** | Записать

Основное | Учет времени | Задачи

Добавить | ↑ ↓ | Старт | Стоп | Свернуть строки

Поиск (Ctrl+F) | × | Еще ▾

N	Дата	Задача	Исполнитель	Время начала	Время окончания	Количество часов
1	10.05.2024	Интеграция с сервисом КАМАЗ	Уханов Денис			8,60
2	12.05.2024	Интеграция с сервисом КАМАЗ	Уханов Денис			4,00
3	12.05.2024	Консультация отдела Бухгалтерии	Уханов Денис			1,30
4	13.05.2024	Интеграция с сервисом КАМАЗ	Уханов Денис			4,50
5	13.05.2024	Консультация отдела Бухгалтерии	Уханов Денис	16:53:49	17:55:00	1,00
6	13.05.2024	Интеграция с сервисом КАМАЗ	Уханов Денис			0,80
7	13.05.2024	Интеграция с сервисом КАМАЗ	Уханов Денис	17:55:28	18:44:36	
8	13.05.2024	Консультация отдела Бухгалтерии	Уханов Денис			
9	13.05.2024	Консультация отдела Бухгалтерии	Уханов Денис	18:45:07	19:58:32	1,20
						21,40

Рис. 5. Фиксация времени исполнения операции в рамках этапа

← → ☆ **Отчет по выполненным задачам**

Сформировать Выбрать вариант... Настройки...

Еще ▾

Выбранные поля: Этапы работ, Дата, Задача, Исполнитель, Количество часов × ... × Проект: ОАО "Партнер Агро"

Статус:  Выполнено ▾ Тема: Бухгалтерия Предприятия. Консультации. ▾

Этапы работ:  Работы май 2024 ▾

Показать описание работ:

**Отбор:** Статус Равно "Выполнено" И  
 Этапы работ Равно "Работы май 2024" И  
 Проект Равно "ОАО "Партнер Агро""

Этапы работ	Дата	Задача	Исполнитель	Количество часов
Описание работ				
Работы май 2024	10.05.2024	Интеграция с сервисом КАМАЗ Т3 API	Уханов Денис	8,6
Работы май 2024	12.05.2024	Интеграция с сервисом КАМАЗ	Уханов Денис	4
Тестовая база выгрузка				
Работы май 2024	12.05.2024	Консультация отдела Бухгалтерии	Уханов Денис	1,3
Не выводится итоговая сумма				
Работы май 2024	13.05.2024	Интеграция с сервисом КАМАЗ	Уханов Денис	5,3
Настройка формы				
Работы май 2024	13.05.2024	Консультация отдела Бухгалтерии	Уханов Денис	2,2
Сумма не корректна				
<b>Итого</b>				<b>21,4</b>

Рис. 6. Отчет по выполненным работам

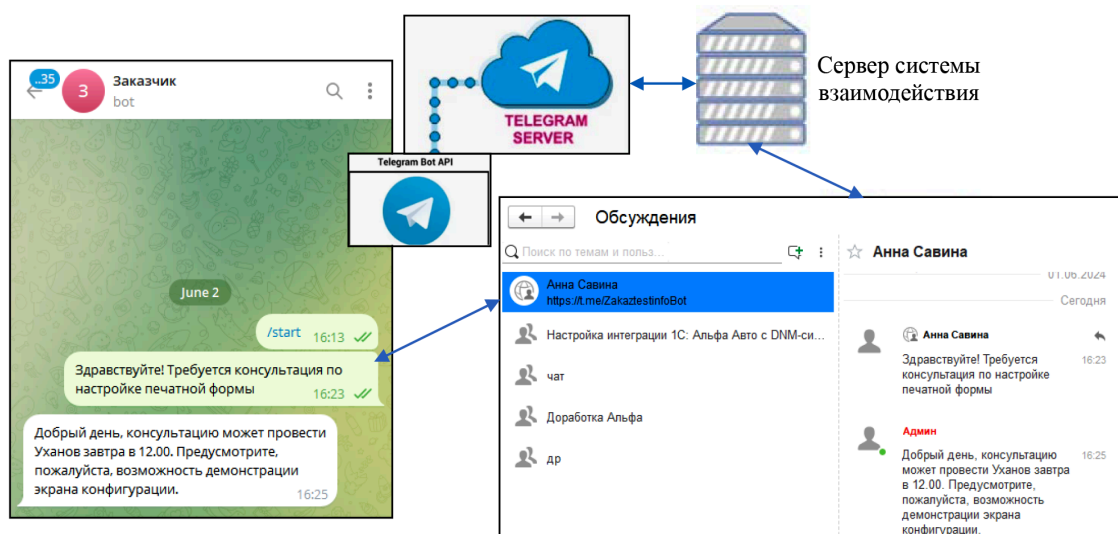


Рис. 7. Система информационного взаимодействия Telegram-бота и разработанной конфигурации

В результате для решения каждой задачи участники проектных групп разработчиков или консультантов могут выбрать наиболее оптимальный канал связи и способ организации информационного обмена. Параллельно с этим в конфигурации возможен учет времени, затраченного на взаимодействие с заказчиками при их консультации.

Основной эффект от использования в разработанной конфигурации механизма системы взаимодействия заключается в экономии временных и трудовых ресурсов вследствие отсутствия необходимости переключения внимания между различными инструментами коммуникаций, поскольку в разработанном прикладном решении все каналы и инструменты представлены в конфигурации в формате единого окна.

### Заключение

Исследование различных подходов и концепций организации учета рабочего времени специалистов ИТ-сферы, критический анализ функционала программных продуктов и инструментальных средств для мониторинга и учета рабочего времени, представленных в сегменте современного рынка ИТ-решений, позволили обосновать актуальность разработки прикладного решения на платформе «1С: Предприятие» и сформировать функциональные требования.

Основное назначение разработанного программного продукта заключается в организации технологического процесса мониторинга и учета рабочего времени ИТ-специалиста. Практическое использование разработанной конфигурации определяется

спецификой принятого в ИТ-компании методологического подхода к формированию отчетности по временным затратам на разработку и сопровождение прикладных решений. Как показало проведенное предпроектное обследование предметной области, наиболее распространенными вариантами является организация учета рабочего времени в рамках отдельного проекта в разрезе этапов и задач или же учет временных затрат по нескольким проектам, реализуемым при параллельном исполнении задач, относящихся либо к разным проектам одного заказчика, либо к проектам, реализуемым по договорам с разными контрагентами. В соответствии с этим в конфигурации реализованы два модуля (подсистемы), учитывающих особенности каждого подхода. Большинство ИТ-компаний использует оба рассмотренных подхода, однако если применяется один из них, то каждый из модулей может функционировать как самостоятельный программный продукт. Кроме того, допускается возможность установки конфигурации в качестве расширений любого типового решения на платформе «1С: Предприятие».

Для организации каналов внутри- и межпроектного взаимодействия, возможности организации коммуникаций сотрудников ИТ-компаний при совместной удаленной работе, в конфигурации настроен функционал интерактивного взаимодействия участников проектных групп команд-разработчиков в виде организации групповых и предметных обсуждений в рамках реализуемых проектов по разработке и сопровождению прикладных решений. Для взаимо-

действия с заказчиком и консультационной поддержки пользователей сопровождаемых прикладных решений в конфигурации настроен обмен данными с внешними пользователями непосредственно из прикладного решения, в качестве канала взаимодействия использован Telegram-бот «Заказчик». Разработанное приложение направлено на повышение эффективности реализации ИТ-проектов как для ИТ-компаний, так и для заказчиков за счет повышения прозрачности выполнения проектных работ, формирования себестоимости и ценообразования, контроля качества работы сотрудников.

### Список литературы

1. Муравьева Н.Н., Муравьев Е.Г. Особенности кадровой политики и оценки результативности труда в ИТ-компаниях // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 7 (101). С. 130–135. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-7-130-135.
2. Александрова Н.А. Инструменты удержания ИТ-специалистов в условиях трансформации рынка труда // Human Progress. 2023. Т. 9, № 2. С. 1. DOI: 10.34709/IM.192.1.
3. Артонкина Н.В. Трудовые отношения с программистами // Мотивация и оплата труда. 2023. № 1. С. 28–36. DOI: 10.36627/2618-8864-2023-1-1-28-36.
4. Сербина Н.В. Вопросы управления эффективностью труда удаленных сотрудников // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. № 1. С. 71–75.
5. Богатырева И.В., Илюхина Л.А., Богатырев А.Е. Концептуальный подход к формированию заработной платы персонала ИТ-компаний // Экономика труда. 2022. Т. 9. № 2. С. 447–462. DOI: 10.18334/et.9.2.114158.
6. Бевзюк А.А., Бевзюк И.К., Цветкова С.Е. Сравнительный анализ способов оценки работы командами разработки // Human Progress. 2023. Т. 9, № 2. С. 18. DOI: 10.34709/IM.192.18.
7. Кожина В.О., Егоренко А.О. Инструменты тайм-менеджмента в корпоративной системе управления компанией // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. № 5. С. 209–211.
8. Юдина С.В. Теоретические предпосылки и новые практические основания организации и нормирования труда ИТ-специалистов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15, № 3 (59). С. 143–155.
9. Нгуен Фук Хау, Зарипова Р.С., Зинченко В.Э. Программное обеспечение для учета и контроля рабочего времени сотрудников // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 7. С. 233–236.
10. Система стандартов и методик разработки конфигураций для платформы 1С: Предприятие 8. [Электронный ресурс]. URL: [https:// its.1c.ru/db/v8std](https://its.1c.ru/db/v8std) (дата обращения: 26.09.2024).
11. Савина А.Г., Малявкина Л.И. Развитие функциональности механизмов технологической платформы 1С: Предприятие для расширения возможностей адаптации типовых конфигураций // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. 2023. № 18. С. 79–87. DOI: 10.36683/2500-249X/2023-18/79-87.
12. Моисеев А.В. Анализ способов интеграции платформы 1С: Предприятие и мессенджера Telegram // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвузовский сборник научных трудов / Под ред. Г.В. Овечкина. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 2023. С. 54–57.

УДК 004.31:378.147.88  
DOI

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО ПОТОКОВОГО ПРОЦЕССОРА

Страбыкин Д.А.

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», Киров, e-mail: Strabykin@mail.ru

Цель исследования: развитие технологии построения и применения в учебном процессе функциональных моделей вычислительных устройств с помощью Microsoft Excel для распространения ее на вычислительные структуры, состоящие из параллельно работающих блоков, с демонстрацией разработки модели учебного потокового процессора ЭВМ. Рассматривается представление алгоритма в виде информационного графа и списочной формы потокового процессора, отражающей не единственную последовательность операций, а общую структуру алгоритма. В потоковом процессоре переход к выполнению операции осуществляется, как только создаются условия, характеризующие возможность ее выполнения. Приводится структура и алгоритм работы учебного потокового процессора, содержащего следующие блоки: управления; памяти шаблонов; очередей шаблонов; выполнения коротких и длинных операций; записи результатов в память шаблонов. Рассматривается построение функциональной модели учебного потокового процессора, включающее: определение программистской структуры и формата шаблонов; разработку экранной формы со структурой процессора и дополнительными средствами модели (управления, ввода данных, анализа работы процессора); реализацию функций узлов и блоков процессора с помощью формул Microsoft Excel, обеспечивающую параллельную работу блоков в четырех режимах работы процессора (полутакт, такт, шаг и автомат). Приводится пример экспериментальных исследований решения задачи потоковым процессором, описываемой информационным графом.

**Ключевые слова:** потоковые процессоры, действующие функциональные модели, компьютерные практикумы по ЭВМ, применение Microsoft Excel

## A FUNCTIONAL MODEL OF A TRAINING DATAFLOW PROCESSOR

Strabykin D.A.

Vyatka State University, Kirov, e-mail: Strabykin@mail.ru

Purpose of work: development of technology for construction and application of functional models of computing devices in the educational process using Microsoft Excel to extend it to computing structures consisting of parallel working units, with demonstration of creation and experimental study of a model of a training dataflow computer processor. The presentation of the algorithm in the form of an information graph and a list form of a dataflow processor, reflecting not a single sequence of operations, but the general structure of the algorithm, is considered. In a dataflow processor, an operation is transitioned as soon as conditions are created that characterize the possibility of its execution. The structure and algorithm of the training dataflow processor is given, which contains the following units: controls; template memory; template queues; performing short and long operations; writing results to template memory. It is considered the construction of a functional model of a training dataflow processor, including: determination by a programmer of the structure and format of templates; development of a screen form with a processor structure and additional model tools (control, data input, analysis of processor operation); implementation of functions of processor units and units using Microsoft Excel formulas, which provides parallel operation of units in four modes of processor operation (half-cycle, cycle, step and automatic). An example of experimental studies of solving the problem by a dataflow processor described by an information graph is given.

**Keywords:** dataflow processors, functional models, practical studies of computers, Microsoft Excel applications

### Введение

Одно из основных направлений развития процессоров (ПР) современных вычислительных машин и систем связано с ориентацией на достижение максимальной производительности при ограничениях, накладываемых на другие технические характеристики. При этом широко используются различные подходы к организации параллельной обработки данных, реализуемые путем параллельного функционирования блоков ПР. Примером такого подхода может служить применение потокового управления вычислениями. В потоковых ПР в отличие от директивного управления

по программному счетчику команды выполняются, когда становятся доступными их операнды [1-3]. Важную роль при изучении ПР играет проведение обучающимися экспериментальных исследований не учебных и учебных процессоров с помощью программных средств моделирования. В этом случае могут быть использованы как программные средства, созданные для разработки и исследования вычислительных процессов и структур [4-6], так и средства, предназначенные для обучения [7-9]. В частности, представляют интерес учебные процессоры в виде программных моделей, отражающих наиболее существенные

аспекты рассмотрения ПР на конкретном этапе их изучения.

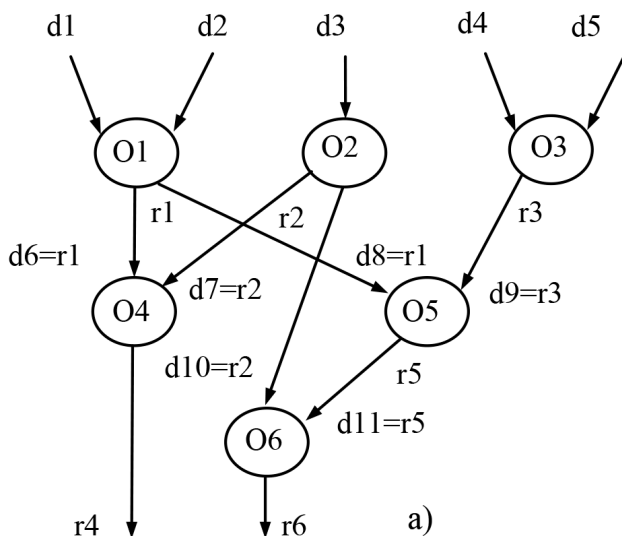
**Цель исследования:** развитие технологии построения и применения в учебном процессе функциональных моделей вычислительных структур, состоящих из параллельно работающих блоков, позволяющей создавать и экспериментально исследовать модели учебных потоковых процессоров ЭВМ с помощью Microsoft Excel.

#### Списочная форма потокового процессора

Алгоритм может быть представлен в виде информационного графа, являющегося однонаправленной сетью или ациклическим графом, узлы которого поставлены в соответствие единицам обработки данных (операциям), а однонаправленные дуги – путям передачи данных между ними – информационным связям. Программа представляет собой списочную форму описания информационного графа и состоит из последовательности команд. В потоковом процессоре переход к выполнению операции осуществляется, как только создаются условия, характеризующие возможность ее выполнения. Такой способ управления называют также управлением потоком данных. Операция может быть выполнена, если на соответствующую вершину информационного графа по входным дугам поступили все необходимые операнды. Говорят, что такая вершина «сработала», и после этого ее результат по направленным дугам передается на другие вершины. Результат решения задачи будет получен после срабатывания конечных вершин в информационном графе.

Списочная форма потокового ПР отражает не единственную последовательность операций, а общую структуру алгоритма. Элемент такого списка, часто называемый шаблоном, может быть представлен в следующем виде:  $O, F, \{d\}, \{ar\}$ , где  $O$  определяет примитивную операцию, соответствующую срабатыванию вершины данной операции в информационном графе (спусковая функция);  $\{d\}$  – множество полей операндов, заполняемых по мере выполнения предшествующих операций (срабатывания предшествующих вершин в графе); эти операнды могут использоваться как для выполнения операции  $O$ , так и для вычисления спусковой функции  $F$ ;  $\{ar\}$  – множество полей назначения, указывающих, каким шаблонам должны быть переданы промежуточные результаты выполнения операции или куда следует направить полученные конечные результаты.

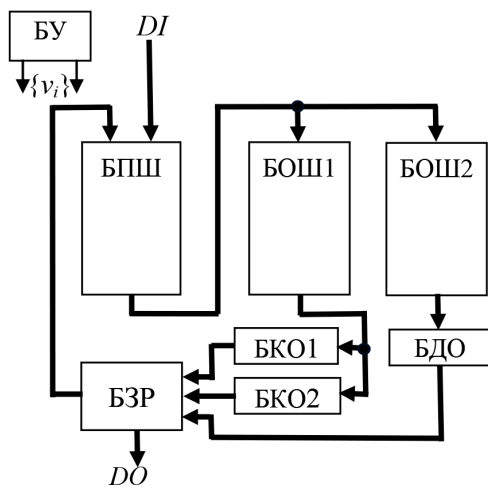
Пример информационного графа и списочной формы для потокового процессора приведены на рис. 1, где  $r_i$  – результат операции, а  $k_i$  – шаблон с номером  $i$  ( $i=1,2,\dots,6$ );  $k_j/n \in \{ar\}$  –  $n$ -е поле назначения операнда ( $n \in \{1,2\}$ )  $j$ -го шаблона ( $j=1,2,\dots,J$ ), в который передается результат операции;  $T_i(x,x)$  – тег (играет роль спусковой функции  $F$ ) используется для фиксации наличия операндов, необходимых для выполнения  $i$ -го шаблона:  $T_i(x,x)$  – операндов нет,  $T_i(1,x)$  – получен только первый операнд,  $T_i(x,1)$  – получен только второй операнд,  $T_i(1,1)$  – получены оба операнда (шаблон готов к выполнению).



- $k_1: T_1(x,x) O_1 (d_1, d_2), (k_4/1, k_5/1);$   
 $k_2: T_2(1,x) O_2 (d_3), (k_4/2, k_6/1);$   
 $k_3: T_3(x,x) O_3 (d_4, d_5), (k_5/2);$   
 $k_4: T_4(x,x) O_4 (r_1, r_2), (r_4);$   
 $k_5: T_5(x,x) O_5 (r_1, r_3), (k_6/2);$   
 $k_6: T_6(x,x) O_6 (r_2, r_5), (r_6).$

б)

Рис. 1. Пример информационного графа (а) и списочной формы (б) потокового ПР



а)

H	k	T	O	(d)	(r)
1	k1	T1(1,1)	O1	(d1,d2)	(k4/1,k5/1)
1	k2	T2(1,1)	O2	(d3)	(k4/2,k6/1)
1	k3	T3(1,1)	O3	(d4,d5)	(k5/2);
1	k4	T4(1,1)	O4	(r1,r2)	(DO)
1	k5	T5(1,1)	O5	(r1,r3)	(k6/2)
1	k6	T6(1,x)	O6	(r2,r5)	(DO)
2	k4	T4(1,1)	O4	(r1,r2)	(DO)
2	k5	T5(1,1)	O5	(r1,r3)	(k6/2)
2	k6	T6(1,1)	O6	(r2,r5)	(DO)
3	k6	T(1,1)	O6	(r2,r5)	(DO)

б)

Рис. 2. Пример структуры (а) и рабочих циклов (б) потокового ПР

*Структура и рабочий цикл учебного потокового процессора*

Пример структуры учебного потокового ПР приведен на рис. 2а, где БУ – блок управления; БПШ – блок памяти шаблонов; БОШ1 – блок очереди шаблонов коротких, а БОШ2 – длинных операций; БКО1 и БКО2 – блоки выполнения коротких, а БДО – длинных операций; БЗР – блок записи результатов в память шаблонов. Подлежащие выполнению шаблоны предварительно записываются БПШ по входу *DI*, а результаты вычислений считываются из БПШ с помощью выхода *DO*. Блок управления вырабатывает множество необходимых управляющих сигналов  $\{v_i\}$ .

В каждом рабочем цикле потокового ПР выполняются следующие действия.

– В начале цикла в БПШ анализируется поле тегов всех шаблонов, и выделяются готовые к выполнению шаблоны, у которых  $T=(1,1)$ . Выделенные шаблоны последовательно передаются в соответствующие очереди: шаблоны коротких операций – в БОШ1, а длинных – в БОШ2.

– При наличии свободного блока операций в него из соответствующей очереди помещается готовый к выполнению операции шаблон. После выполнения операции, как только окажется свободным БЗР, полученный в блоке операций результат вместе со значениями полей назначений пересылается в БЗР.

– БЗР записывает в БПШ результат операции, в соответствии с заданными полями назначений во входные поля операндов других шаблонов. Причем, при записи результата в поле операнда шаблона, устанавлива-

ется в единицу соответствующий полю бит тега данного шаблона.

– После записи результатов операций, выделенных в начале цикла готовых к выполнению шаблонов, эти шаблоны удаляются из БПШ. Проверяется, все ли шаблоны удалены из БПШ. Если в БПШ есть шаблоны, то выполняется следующий рабочий цикл. В противном случае процесс вычислений завершается.

Выполнение списочной формы потокового ПР, приведенной на рис. 1б, требует три рабочих цикла ( $H=1,2,3$ ) (рис. 2б). В начале первого цикла ( $H=1$ ) в БПШ анализируется поле тегов всех шаблонов, и выделяются готовые к выполнению шаблоны ( $k1, k2, k3$ ), у которых  $T=(1,1)$ . Выделенные шаблоны последовательно передаются в соответствующие очереди: шаблоны коротких операций ( $k2, k3$ ) – в БОШ1, а длинных ( $k1$ ) – в БОШ2. Поскольку блоки операций свободны, то в них из соответствующих очередей помещаются готовые к выполнению операции шаблоны ( $k1, k2, k3$ ). После выполнения операций, по мере освобождения БЗР, полученные в блоках операций результаты со значениями полей назначения ( $r1,k4/1,k5/1; r2,k4/2,k6/1; r3,k5/2$ ) пересылаются в БЗР. Этот блок последовательно записывает в БПШ пересланный результат операции в соответствии с заданными полями назначений во входные поля операндов других шаблонов: результат  $r1$  – в первые поля данных шаблонов  $k4$  и  $k5$ ; результат  $r2$  – во второе поле данных шаблона  $k4$  и первое поле данных шаблона  $k6$ ; результат  $r3$  – во второе поле данных шаблона  $k5$ . При этом теги шаблонов, в которые был

записан результат, принимают следующие значения: T4(1,1), T5(1,1) T6(1,x). После записи результатов операций, выделенных в начале цикла готовых к выполнению шаблонов (k1, k2, k3), эти шаблоны удаляются из БПШ. Далее ПР выполняет второй (H=2) и третий (H=3) рабочий цикл, пока из БПУ не будут удалены все шаблоны.

*Структура процессора и экранная форма для проведения экспериментальных исследований*

Разработка функциональной модели процессора осуществляется на основе структуры и рабочего цикла учебного потокового ПР. Архитектура процессора включает программистскую (логическую) структуру и внутренний язык, используемый для составления списочной формы (программы потокового процессора). Программистская структура представляет со-

бой 16 32-разрядных регистров шаблонов, в которые помещается списочная форма (программа) процессора. Основу внутреннего языка составляет шаблон, формат которого приведен на рис. 3, где O – код операции, в котором нулевое значение в старшем разряде определяет код короткой, а единичное – длинной операции; d1 – поле первого, а d2 – второго операнда; ar1=j1.n1 и ar2=j2.n2 – поля назначения, в каждом из этих полей старшие четыре разряда (j1 и j2) содержат номер регистра шаблона, в который следует записать результат операции, а младший разряд (n1 и n2) определяет поле данных в этом шаблоне (если n=0, то d1, если n=1, то d2); T=t1.t2 – двухразрядное поле тега, в котором разряд t1 соответствует полю операнда d1, а t2 – d2, при единичном значении разряда тега операнд находится в шаблоне в соответствующем поле операнда, а при нулевом – отсутствует.

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
O				d1								d2								ar1				ar2				T			
4				8								8								5				5				2			

Рис. 3. Формат шаблона

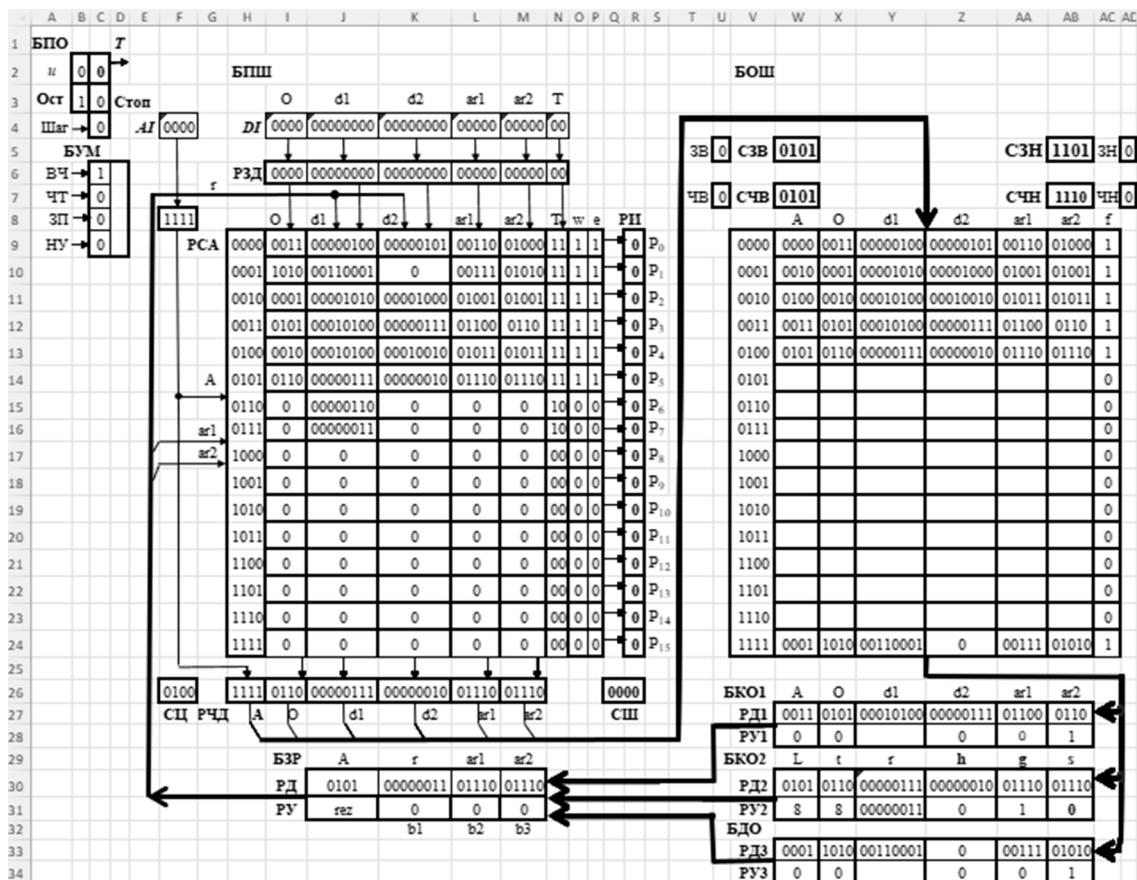


Рис. 4. Экранная форма для экспериментального исследования процессора (левая часть)



Структура моделируемого процессора приведена на разработанной экранной форме (рис. 4) и отличается от структуры учебного процессора (рис. 2а) наличием блока пуска-останов (БПО), более детальным представлением состава БПШ, БОШ, БКО1, БКО2, БДО и БЗР, а также введением блока управления моделью (БУМ). Кроме того, БОШ представляет собой две совмещенные на одном накопителе из 16 регистров линейные очереди: верхнюю (заполняется от младших номеров регистров к старшим) и нижнюю (заполняется от старших номеров регистров к младшим). Из верхней очереди шаблоны поступают в БКО1 или БКО2, а из нижней – в БДО.

На рис. 4 использованы следующие обозначения узлов и сигналов (в квадратных скобках указаны ссылки на ячейки Excel, в которых отображаются их состояния).

БПО: Ост[V3] и Стоп[C3] – осведомительные сигналы, принимающие единичное значение при завершении выполнения всей программы и одного рабочего цикла соответственно. Шаг[C4] – поле управляющего сигнала, позволяющего перевести процессор в режим, при котором после выполнения одного рабочего цикла ПР формирует сигнал Стоп[C3] и останавливается. Для выполнения ПР следующего шага пользователю необходимо ввести с клавиатуры в ячейку С4 в десятичной системе счисления номер следующего шага и нажать клавишу F9. Для отмены пошагового режима в ячейку С4 вводится 0.

БУМ: ВЧ[C6] – управляющий сигнал, переводящий модель ПР в режим вычислений; ЧТ[C7] – чтения содержимого БПШ; ЗП[C8] – записи в БПШ; НУ[C9] – начальной установки всех блоков. Значения всех сигналов в БУМ задаются пользователем с клавиатуры, путем записи нуля или единицы в соответствующую ячейку Excel.

БПШ: РСА[F8] – регистр-счетчик адреса, позволяющий адресовать один из 16 регистров шаблонов для записи и чтения; РЗД[I6:N6] – регистр записи данных в регистр шаблона по адресу в РСА при подаче управляющего сигнала ЗП[C8]; АI[F4] – поле ввода данных с клавиатуры в РСА, а ДI[I4:N4] – в РЗД; w, e – дополнительные разряды в регистре шаблона, устанавливаемые в единичное состояние при копировании шаблона в БОШ (w) и после завершения выполнения шаблона при записи его результата в регистры БПШ (e); РИ[R9:R24] – регистр индикаторов, каждый разряд которого ( $p_0, p_1, \dots, p_{15}$ ) соответствует одноименному регистру шаблона и устанавливается в единичное состояние в режиме вычислений, когда тег

шаблона в этом регистре равен коду «11» (шаблон готов к выполнению); СЦ[F26] – счетчик рабочих циклов; РЧД[H26:M26] – регистр чтения данных из регистра шаблона по адресу в РСА при подаче управляющего сигнала ЧТ[C7], а также в режиме вычислений; СШ[Q26] – счетчик шаблонов, готовых в текущий момент к выполнению, но выполнение которых еще не завершено.

БОШ: СЗВ[W5] – счетчик записи верхний с сигналом ЗВ[U5] – записи, СЧВ[W7] – счетчик чтения верхний с сигналом ЧВ[U7] – чтения для верхней очереди, растущей от младших номеров регистров к старшим; СЗН[AB5] – счетчик номера нижний с сигналом ЗН[AD5] – записи, СЧН[AB7] – счетчик чтения нижний с сигналом ЧН[AD7] – чтения для нижней очереди, растущей от старших номеров регистров к младшим; А – поле адреса шаблона в БПШ; f – дополнительный разряд в регистре очереди, который устанавливается в единичное состояние, когда шаблон пересылается в блок операций.

БКО1, БКО2, БДО – блоки операций. БКО1 содержит: регистр данных РД1[W27:AB27], в который поступает шаблон из БОШ, и регистр управления РУ1[W28:AB28], имеющий следующие поля: L – число тактов, требуемое для выполнения операции; t – текущее число выполненных тактов; r – результат операции; h – признак поступления шаблона для вычисления в блок операций (при h=1 шаблон поступил в РД); g – признак готовности результата (g=1 при поступлении результата в поле r); s – признак готовности блока операций принять новый шаблон (при s=1 блок готов принять новый шаблон). БКО2 и БДО содержат аналогичные регистры: БКО2 – РД2[W30:AB30] и РУ2[W31:AB31], БДО – РД3[W33:AB33] и РУ3[W34:AB34].

БЗР: РД[J30:M30] – регистр данных, в который из блока операций поступают: А – адрес выполненного шаблона в БПШ, r – результат операции, а также содержимое полей назначения ar1 и ar2; РУ[J31:M31] – регистр управления, включающий следующие поля: rez – резерв; b1 – признак поступления в РД новых данных из БКО1, b2 – из БКО2 и b3 – из БДО (признаки устанавливаются в единичное состояние при поступлении новых данных). Результат r может одновременно записываться в поля данных одного или двух шаблонов регистров БПШ в соответствии с содержимым полей назначения ar1 и ar2 в РД.

Кроме блоков, приведенных на рис. 4, в состав модели ПР входят еще два блока: ПД БПШ – пультовый дублер блока памяти шаблонов и БНО – блок настройки операций (рис. 5).

	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV
1																
2	<b>ПД БПШ</b>						<b>БНО</b>									
3																
4																
5																
6																
7																
8	<b>A</b>	<b>O</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>ar1</b>	<b>ar2</b>	<b>T</b>			<b>O</b>	<b>L</b>	<b>r</b>	<b>rd</b>	<b>S</b>		
9	0000	0011	00000100	00000101	00110	01000	11			0000	1	rez	rez			
10	0001	1010	00110001	0	00111	01010	11			0001	2					+
11	0010	0001	00001010	00001000	01001	01001	11			0010	2					-
12	0011	0101	0	0	01100	0110	00			0011	8					x
13	0100	0010	0	0	01011	01011	00			0100	4	rez	rez			/
14	0101	0110	0	0	01110	01110	00			0101	8					%
15	0110	0	0	0	0	0	00			0110	8		00000011			//
16	0111	0	0	0	0	0	00			0111	2	rez	rez			
17	1000	0	0	0	0	0	00			1000	2	rez	rez			
18	1001	0	0	0	0	0	00			1001	2	rez	rez			
19	1010	0	0	0	0	0	00			1010	16		rez			√
20	1011	0	0	0	0	0	00			1011	2	rez	rez			
21	1100	0	0	0	0	0	00			1100	2	rez	rez			
22	1101	0	0	0	0	0	00			1101	2	rez	rez			
23	1110	0	0	0	0	0	00			1110	2	rez	rez			
24	1111	0	0	0	0	0	00			1111	2	rez	rez			

Рис. 5. Экранная форма для экспериментального исследования процессора (правая часть)

ПД БПШ представляет собой таблицу для пультового ввода данных в БПШ, в которой заданы номера всех регистров (поле А). Предварительно введенные в таблицу двоичные коды шаблонов переносятся в отдельные регистры БПШ после задания режима начальной установки всех блоков модели (НУ[С9]=1) и нажатия клавиши F9. При этом в неиспользуемые поля могут быть внесены символы «0».

БНО отображается в виде таблицы, в которой заданы коды операции (поле О). В столбце L указывается число тактов, необходимых БКО1 (БКО2) и БДО для выполнения каждой используемой в процессоре

операции. В столбце r помещаются результаты вычислений операций с заданным кодом операции в БКО1 (0000-0111) и БДО (1000-1111), а в столбце rd – в БКО2 (0000-0111). Столбец S может быть использован для указания символа реализуемой операции. Временно неиспользуемые ячейки таблицы помечаются символами «rez». Операции выполняются с помощью заранее введенных в ячейки столбцов r и rd формул Microsoft Excel над данными, находящимися в соответствующем блоке операций. Например, формулы для умножения целых чисел с кодом операции O=0011 для БКО1 и БКО2 имеют вид:

AT13: =ЕСЛИ(И(X27=>»0011»;W28=X28;W28>0);ОСНОВАНИЕ(ПРОИЗВЕД(ДЕС(Y27;2);ДЕС(Z27;2));2;8);» «);

AU13: =ЕСЛИ(И(X30=>»0011»;W31=X31;W31>0);ОСНОВАНИЕ(ПРОИЗВЕД(ДЕС(Y30;2);ДЕС(Z30;2));2;8);» «).

Результаты вычислений из БНО передаются в поля r РУ соответствующих блоков операций.

*Реализация функций узлов и блоков с помощью формул Microsoft Excel*

Разработка функциональной модели процессора производится с использованием подхода, основанного на пословном моделировании узлов и блоков процессора с помощью стандартных функций Excel, когда в ячейках могут находиться многоразрядные двоичные коды, а вычисления производятся в десятичной системе счисления. При этом сохраняется представление состояний входов и выходов узлов и блоков на экранных формах в двоичной системе счисления. Такой подход в отличие от поразрядного моделирования работы узлов и блоков в двоичной системе счисления позволяет значительно уменьшить объем работы по моделированию ПР за счет сокращения числа и сложности формул, требует меньшего количества ячеек Excel [9]. Рассмотрим реализацию функций узлов и блоков потокового ПР более подробно.

В состав БПО входит генератор тактовых импульсов (ГТИ). Используется известная модель ГТИ на основе T триггера:  $T(t+1)=u(\tau \oplus T(t))$ , где T(t) – состояние триггера до подачи сигнала  $\tau$ , формируемого при нажатии клавиши F9, а T(t+1) – после подачи этого сигнала, u – состояние управляющего входа (при u=0 состояние выхода T(t+1) генератора принимает нулевое значение и сохраняет его при нажатиях клавиши F9) [9]. Логическая формула T триггера представляется следующей формулой Excel: C2: =ЕСЛИ(И(B2;НЕ(C2));1;0). Управляющий вход u принимает нулевое значение, прекращающее формирование тактовых сигналов, в одном из трех случаев: при начальной установке (НУ[C9]=1); получении сигнала Ост[B3]=1 или Стоп[C3]=1. Формирование этого значения осуществляется в ячейке B2 с помощью формулы: B2: =ЕСЛИ(ИЛИ(C9;B3;C3);0;1)). В свою очередь значения сигналов Ост[B3] и Стоп[C3] определяются следующими формулами:

B3: =ЕСЛИ(C9;0;ЕСЛИ(И(F8="1111";Q26="0000");1;B3));  
 C3: =ЕСЛИ(ИЛИ(C9;НЕ(C4=ДЕС(F26;2)));0;ЕСЛИ(И(C4>0;F8="0000";C4=ДЕС(F26;2));1;C3)).

Примеры описаний функций узлов БПШ, БОШ, БКО и БЗР приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

Описание функционирования блоков процессора с помощью формул Microsoft Excel

Блок\узел	Формула Microsoft Excel
БПШ\РСА[F8]	=ЕСЛИ(C9;F4;ЕСЛИ(И(C2=0;C6;B3=0;C3=0);ПСТР(ОСНОВАНИЕ(ДЕС(F8;2)+1;2;5);2;5);F8))
БПШ\РЗД-О[I6]	=ЕСЛИ(C9;»0000»;ЕСЛИ(И(C2=1;C8=1);I4;I6))
БПШ\РШ0-О[I9]	=ЕСЛИ(\$C\$9;АН9;ЕСЛИ(И(\$C\$2;\$C\$8;\$F\$8=\$H9);I\$6;I9))
БПШ\РШ0-ar1[L9]	=ЕСЛИ(\$C\$9;АК9;ЕСЛИ(И(\$C\$2;\$C\$8;\$F\$8=\$H9);L\$6;L9))
БОШ\СЗВ[W5]	=ЕСЛИ(C9;»0000»;ЕСЛИ(W5=»10000»;»0000»;ЕСЛИ(И(ЛЕВСИМБ(I26)=»0»;ВПР(\$H\$26;H9:R24;11);ВПР(\$H\$26;H9:R24;9)=0;B2;C2;ИЛИ(И(F26=»0000»;F8>W5);НЕ(F26=»0000»)))));ПСТР(ОСНОВАНИЕ(ДЕС(W5;2)+1;2;5);2;5);W5))
БОШ\ЯПО-А[W9]	=ЕСЛИ(\$C\$9;» «;ЕСЛИ(И(ИЛИ(И(\$U\$5;ЛЕВСИМБ(\$I\$26)=»0»; \$W\$5=\$V9);И(\$AD\$5;ЛЕВСИМБ(\$I\$26)=»1»; \$AB\$5=\$V9));\$B\$2;\$C\$2=0);H\$26;W9))
БКО1\РД1-А[W27]	=ЕСЛИ(C9;» «;ЕСЛИ(И(U7;C2;AB28);ВЫБОР(ДЕС(W7;2)+1;W9;W10;W11;W12;W13;W14;W15;W16;W17;W18;W19;W20;W21;W22;W23;W24);W27))
БКО1\РУ1-L[W28]	=ЕСЛИ(ИЛИ(C9;AB28);0;ЕСЛИ(И(C2=0;Z28;НЕ(X27=" "));ВЫБОР(ДЕС(X27;2)+1;A9;A10;A11;A12;A13;A14;A15;A16;A17;A18;A19;A20;A21;A22;A23;A24);W28))
БКО1\РУ1-t[X28]	=ЕСЛИ(ИЛИ(C9;AB28);0;ЕСЛИ(И(C2=0;Z28;X28<W28);X28+1;X28))
БКО1\РУ1-r[Y28]	=ЕСЛИ(ИЛИ(C9;AB28);» «;ЕСЛИ(И(W28=X28;W28>0;НЕ(X27=» «));ВЫБОР(ДЕС(X27;2)+1;AT9;AT10;AT11;AT12;AT13;AT14;AT15;AT16);Y28))
БЗР\РД-r[K30]	=ЕСЛИ(C9;» «;ЕСЛИ(И(C2;AA34);Y34;ЕСЛИ(И(C2;AA28);Y28;ЕСЛИ(И(C2;AA31);Y31;K30))))
БЗР\РД-ar1[L30]	=ЕСЛИ(C9;» «;ЕСЛИ(И(C2;AA34);AA33;ЕСЛИ(И(C2=1;AA28);AA27;ЕСЛИ(И(C2;AA31);AA30;L30))))

### Особенности рабочего цикла процессора

Моделируется работа процессора по тактам, вырабатываемым ГТИ, входящим в БПО. Процессор выполняет вычисления в соответствии со списочной формой, представленной в виде шаблонов заданного формата и записанной в БПШ. Вычислениям предшествует начальная установка ПР, которая производится путем нажатия клавиши F9 после ввода следующих значений управляющих сигналов БУМ:  $VЧ[C6]=ЧТ[C7]=ЗП[C8]=0$ ,  $НУ[C9]=1$ . В процессе начальной установки предварительно введенная в пультовый дублиер БПШ списочная форма копируется в БПШ. Для перевода модели ПР в режим вычислений в БУМ задается следующий набор управляющих сигналов:  $VЧ[C6]=1$ ,  $ЧТ[C7]=ЗП[C8]=НУ[C9]=0$ .

В каждом рабочем цикле в модели потокового ПР выполняются следующие действия.

**Блок памяти шаблонов.** В БПШ анализируется поле тегов  $T$  всех шаблонов, и выделяются готовые к выполнению шаблоны: одноименные разряды РИ шаблонов, у которых  $T=(1,1)$ , устанавливаются в единичные состояния. Выделенные шаблоны последовательно считываются из БПШ и записываются в БОШ1 или БОШ2. При этом дополнительный разряд  $w$  регистра БПШ, из которого был считан шаблон, устанавливается в единичное состояние, фиксируя факт передачи шаблона из БПШ в БОШ. Кроме того, в БПШ записывается результат операции из БЗР, в соответствии с заданными полями назначений во входные поля операндов, и записываются единицы в соответствующие поля битов тегов  $T$  данных шаблонов. В дополнительный разряд регистра шаблона  $e$ , в котором находится выполнявшийся шаблон, записывается единица. Таким образом фиксируется факт выполнения шаблона.

– **Блок очередей шаблонов.** В БОШ шаблоны записываются во время модификации РСА в БПШ, что позволяет совместить во времени работу БОШ и БПШ. При этом в регистр БОШ кроме шаблона также помещается его адрес в БПШ. Перед записью шаблона в БОШ анализируется старший разряд поля  $O$ . Если в этом разряде ноль, то шаблон записывается по СЗВ в верхнюю очередь коротких операций, растущую от младших номеров регистров к старшим, а если ноль, то используется СЗН, и запись осуществляется в нижнюю очередь длинных операций, растущую от старших номеров регистров к младшим. Чтение из верхней очереди БОШ производится

по СЧВ при поступлении от БКО сигнала  $s=1$  готовности блока операций принять новый шаблон. Такой сигнал могут формировать БКО1 и БКО2. При этом сигнал от БКО1 имеет более высокий приоритет. Чтение из нижней очереди производится по СЧН при поступлении сигнала готовности  $s=1$  от БДО, который имеет наивысший приоритет. После чтения шаблона из БОШ в блок операций, дополнительный разряд  $f$  в регистре БОШ, из которого был считан шаблон, устанавливается в единичное состояние, фиксируя факт передачи шаблона из БОШ в блок операций.

**Блоки операций.** В БКО1, БКО2 и БДО шаблоны копируются из БОШ вместе с их адресами в БПШ последовательно в соответствии с приоритетами сигналов готовности этих блоков. Копируемый шаблон помещается в РД блока операции. При этом в РУ блока разряд признака  $h$  поступления шаблона устанавливается в единичное состояние. Блоки операций могут работать параллельно. При этом в каждом блоке после поступления шаблона выполняются следующие действия:

- в РУ из БНО по коду операции, заданному в шаблоне, считывается число тактов  $L$ , необходимых для выполнения операции;
- в поле  $t$  РУ каждый такт добавляется по единице, пока не выполнится условие:  $L=t$ ;
- по истечении заданного числа тактов в поле  $r$  РУ записывается результат, полученный после выполнения операции ( $O$ ) над данными ( $d1, d2$ ), указанными в шаблоне. Результат операции вычисляется в БНО в соответствии с заданным кодом операции;
- в РУ разряд признака готовности результата  $g$  устанавливается в единичное состояние.

**Блок записи результата.** По мере получения результатов в блоках операций осуществляется формирование признаков готовности результата  $g=1$ . Если БЗР свободен, то из блока операции, признак готовности результата которого имеет наивысший приоритет, в РД БЗР записываются следующие данные: адрес выполненного шаблона в БПШ ( $A$ ), результат ( $r$ ) и поля назначения ( $ar1, ar2$ ). Наивысший приоритет имеет признак готовности результата БДО, низший – БКО2. После записи данных из блока операций в РД БЗР в единичное состояние устанавливается соответствующий передавшему данные блоку операций признак поступления данных  $b$  в РУ БЗР ( $b1$  – БКО1,  $b2$  – БКО2 и  $b3$  – БДО). При единичном значении признака поступления данных  $b$  производится запись в БПШ результата операции из БЗР во входные поля операндов шаблонов по адресам, заданным

в полях назначений в БЗР. Запись результата в БПШ осуществляется одновременно по двум адресам. Роль дополнительных регистров адреса БПШ играют разряды полей назначений (ar1 и ar2) в РД БЗР. При этом в процессе записи результата соответствующие разряды тегов Т шаблонов, в которые записывается результат, устанавливаются в единичное состояние. В случае, если после этого  $T=(1,1)$ , то в соответствующий шаблону разряд РИ БПШ записывается единица. После записи результата в БПШ признак поступления данных b в РУ БЗР принимает нулевое значение, а БЗР переходит в состояние готовности принять следующий результат из блока операций.

Вычисления завершаются, когда по окончании очередного рабочего цикла (РСА=1111) в БПШ отсутствуют готовые к выполнению шаблоны, выполнение которых не завершено (СШ=0000). В этом случае устанавливается признак Ост=1 и формирование тактовых сигналов прекращается.

*Экспериментальные исследования*

Проведению экспериментальных исследований предшествует изменение параметров Excel, связанных с вычислением формул. Выбираются вычисления в книге «вручную» и включаются итеративные вычисления с предельным числом итераций. При этом задаваемое предельное число итераций (I) определяет один из следующих режимов работы ПР.

1. Полутакт (I=1). После начальной установки всех блоков процессора при первом нажатии клавиши F9 в БПШ, БОШ, БКО1, БКО2, БДО и БЗР первым выполняется полутакт T=1, а затем – T=0. Несовместимые действия, такие как запись или чтение по адресу в счетчике адреса и изменение этого адреса, выполняются в блоках процессора в разных полутактах. В разных полутактах также выполняется чтение и запись в один и тот же блок.

2. Такт (I=2). Каждое нажатие клавиши F9 вызывает выполнение двух полутактов.

3. Шаг (I=16). Для работы ПР в данном режиме необходимо последовательно вводить с клавиатуры номер следующего шага в ячейку Шаг[C4] в десятичной системе счисления и нажимать клавишу F9. Нажатие клавиши F9 вызывает выполнение одного рабочего цикла процессора, в течение которого шаблоны с тегом T=11 из БПШ копируются в БОШ. После выполнения одного рабочего цикла ПР формирует сигнал Стоп[C3]=1 и останавливается. При этом в СЦ БПШ отображается число выполненных рабочих циклов. В конце каждого рабочего цикла анализируется содержимое СШ, в котором подсчитывается число шаблонов в БПШ, готовых в текущий момент к выполнению, но выполнение которых еще не завершено. Если СШ=0000, то формируется сигнал Ост[B3]=1 и ПР останавливается. Для выключения пошагового режима необходимо занести 0 в ячейку Шаг[C4].

4. Автомат (I≥M, где M – максимальное число тактов, необходимых для выполнения «программы»). После начальной установки всех блоков процессора при нажатии клавиши F9 полностью выполняется списочная форма, предварительно занесенная в БПШ, формируется сигнал Ост[B3]=1 и ПР останавливается. При этом в СШ отображается код 0000, а СЦ – число выполненных рабочих циклов. Результаты вычислений записываются в свободные регистры шаблонов после списочной формы в первые поля данных.

Пример решения задачи, описываемой информационным графом, изображенным на рис. 1а, представлен на экранной форме (рис. 4). В примере используются следующие исходные данные: d1=4; d2=5; d3=49; d4=9; d5=7. Операции и результаты вычислений (в десятичной системе счисления) приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

Операции и результаты примера

Операция	Символ	Код	Функция Excel	Формула	Результат
Умножение	x	0011	ПРОИЗВЕД	$r_1=d_1r$	$r_1=4r$
Извлечение квадратного корня	$\sqrt{\quad}$	1010	КОРЕНЬ	$r_2=\sqrt{d_3}$	$r_2=\sqrt{49}=7$
Суммирование	+	0001	СУММ	$r_3=d_4+d_5$	$r_3=10+8=18$
Вычисление остатка от деления	%	0101	ОСТАТ	$r_4=r_1\%r_2$	$r_4=20\%7=6$
Вычитание	-	0010	СУММ	$r_5=r_1-r_3$	$r_5=20-18=2$
Деление нацело	//	0110	ЧАСТНОЕ	$r_6=r_2//r_5$	$r_6=7//2=3$

Анализ работы ПР в режимах полутакт и такт позволяет наблюдать параллельную работу блоков процессора, включая передачу данных между блоками. Можно задавать различные варианты параллельной работы БКО1, БКО2 и БДО, изменяя с помощью БНО время выполнения операций.

### Заключение

Разработанная функциональная модель потокового ПР демонстрирует возможность использования технологии построения действующих функциональных моделей учебных вычислительных структур, состоящих из параллельно работающих блоков, с помощью Microsoft Excel. Для обеспечения поддержки проведения экспериментальных исследований функциональная модель ПР содержит дополнительные средства. Можно выделить следующие виды таких средств: управления; ввода данных; анализа функционирования ПР. К средствам управления относятся поля подачи сигналов в БУМ (ВЧ, ЧТ, ЗП, НУ) и поле ввода номера шага рабочего цикла процессора в БПО (Шаг), а также поля для занесения числа тактов, необходимых для выполнения операций (L) и формулы для вычисления результатов (r и rd) в БНО. Средства ввода данных включают поля ввода данных в РСА (AI) и в РЗД (DI) в БПШ, а также ПД БПШ. Для анализа работы процессора при проведении экспериментальных исследований используются отображаемые на экранной форме состояния узлов и блоков процессора, включая СЦ и СШ, разряды РИ, дополнительные разряды регистров шаблонов (w, e) в БПШ, а также (f) в БОШ; содержимое РД и РУ в блоках операций и БЗР. Особую роль при проведении экспериментальных исследований ПР играет БНО, позволяющий менять состав и время выполнения операций. Благодаря БНО можно отказать от реального выполнения операций над данными, ограничившись зада-

нием их условного обозначения и времени выполнения.

### Список литературы

1. Дикарев Н.И., Шабанов Б.М., Шмелёв А.С. Преимущества и недостатки использования метода векторов указателей в векторном потоковом процессоре // Программные системы: теория и приложения. 2021. Т. 12, № 4(51). С. 65–83. DOI: 10.25209/2079-3316-2021-12-4-65-83.
2. Баканов В. М. Управление динамикой вычислений в процессорах потоковой архитектуры для различных типов алгоритмов // Программная инженерия. 2015. № 9. С. 20–24.
3. Толмачев А.А., Викторов Д.С., Хапёрский А.А., Дергунов А.М. Способ распределения данных по монофункциональным блокам процессоров вычислительной системы с управлением потоком данных. Патент РФ № 2820032. Патентообладатель Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия воздушно-космической обороны имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова» Министерства обороны Российской Федерации. 2024. Бюл. № 16.
4. Орлов С.П., Ефимушкина Н.В. Имитационные модели параллельных вычислительных структур // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям: материалы конференции (г. Санкт-Петербург, 25–27 мая 2016 г.). Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, 2016. Т. 1. С. 217–220.
5. Хилько Д.В., Шикун Ю.И., Орлов Г.А., Степченко Ю.А. Программный комплекс моделирования потоковой рекуррентной многоядерной вычислительной системы (ПК ПОТОК). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. 2022. № 2022667594.
6. Змеев Д.Н. Средства проектирования высокопроизводительных потоковых вычислительных систем // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). 2016. № 2. С. 159–163.
7. Коннов Н.Н., Пчелинцев А.И., Федулов В.Д., Бычков А.С. Учебный кроссплатформенный эмулятор микропрограммируемой ЭВМ // Информатика: проблемы, методы, технологии: материалы XXII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазина (Воронеж, 10–12 февраля 2022 г.) / Под редакцией Д.Н. Борисова. Воронеж: Вэлборн, 2022. С. 1403–1411.
8. Жмакин А.П. Программные модели процессоров и ЭВМ // Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2016. № 3 (11). С. 77–84. URL: <https://auditorium.kursksu.ru/magazine/archive/number/64> (дата обращения: 25.03.24).
9. Страбыкин Д.А. Функциональная модель учебного процессора с микропрограммируемой архитектурой в Microsoft Excel // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 2. С. 102–120. DOI: 10.17513/snt.39530.

УДК 004.896  
DOI

## О ДЕТЕКЦИИ БРАКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ООО «АЛАТОЙС»)

Талалаев М.В.

ООО «Алатойс», Йошкар-Ола;

ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», Йошкар-Ола,

e-mail: oblomoff1@yandex.ru

Цель исследования – разработка и апробация нейросетевой модели для детекции брака на производственном предприятии, осуществляющем выпуск продукции для детей дошкольного возраста, на базе предобученной модели YOLOv8. Данное решение было предложено для реализации в связи с регулярным получением отзывов с торговых площадок, связанных с теми или иными недокомплектами, что, в свою очередь, образуется ввиду использования ручного труда на предприятии. Попытки решить данный производственный вопрос без применения искусственного интеллекта успехом не увенчались ввиду значительного объема выпускаемых изделий и отсутствием технологий, способных на 100% исключить данный фактор (брак при ручной сборке). Для проверки гипотезы был создан минимально жизнеспособный продукт, в основе которого был использован собственный размеченный датасет для обучения нейросети, состоящий из изображений выпускаемых изделий с детектируемыми объектами, в течение недели была обучена сама нейросеть на размеченных данных, а также была проведена адаптация результата для конечных пользователей с помощью написания простейшего фронтенда и реализации подключения видекамеры в режиме реального времени. Модель в своей работе в режиме реального времени показала отличные результаты. Предложенное решение подтвердило первичную гипотезу, а также возможность успешного использования нейросетей на предприятиях Российской Федерации, выпускающих детскую продукцию.

**Ключевые слова:** нейросеть, компьютерное зрение, искусственный интеллект, датасет, детекция брака, ОТК, промышленное предприятие, деревянные игрушки, промышленность, контроль качества, дети, обрабатывающие производства, малый бизнес

## ABOUT THE DEFECT DETECTION AT A MANUFACTURING ENTERPRISE USING NEURAL NETWORKS (ON EXAMPLE OF ALATOYS LLC)

Talalaev M.V.

Alatoys LTD, Yoshkar-Ola;

Mari State University, Yoshkar-Ola, e-mail: oblomoff1@yandex.ru

The purpose of the study is to develop and test a neural network model for detecting defects at a manufacturing enterprise that produces products for preschool children based on the pre-trained YOLOv8 model. This solution was proposed for implementation in connection with the regular receipt of feedback from trading platforms related to certain deficiencies, which, in turn, is formed due to the use of manual labor in the enterprise. Attempts to solve this production issue without the use of artificial intelligence have not been successful due to the significant volume of products produced and the lack of technologies capable of 100% eliminating this factor (defects in manual assembly). To test the hypothesis, a minimally viable product was created, based on which its own marked-up dataset was used to train a neural network, consisting of images of manufactured products with detectable objects, within a week the neural network itself was trained on marked-up data, and the result was adapted for end users by writing the simplest frontend and implementing the connection of a video camera in real-time mode. The model has shown excellent results in its real-time operation. The proposed solution confirmed the primary hypothesis, as well as the possibility of successful use of neural networks at enterprises of the Russian Federation producing children's products.

**Keywords:** neural network, computer vision, artificial intelligence, dataset, marriage detection, industrial enterprise, wooden toys, children, quality control, yolov8, industry, manufacturing, small & medium enterprises

### Введение

Отрасль создания игрушек является уникальной, в том числе потому, что в ней практически не существует стандартизированных решений в области автоматизации ручного труда. Каждый производитель зачастую занимается собственным конструированием и производством оборудования под конкретную производственную задачу.

Компания «Алатойс» является одним из лидеров страны в области производства детских развивающих игрушек из дерева [1]. В деятельности компании присутствует ручной труд, который при высоких показателях выпуска идентичной продукции в единицу времени непременно приводит к браку в виде недокомплектов изделий, что подтверждается отзывами на маркетплейсах.

С учетом событий начала 2022 г., а также самых низких показателей рождаемости с 1999 г. [2] данные тенденции в целом продолжают негативным образом сказываться на рынке труда и на емкости отрасли. В этой связи вопросы автоматизации труда, повышения его интенсификации и эффективности являются сверхактуальными абсолютно для всех участников рынка исследуемой отрасли промышленности. Особенно с учетом того фактора, что научные труды по использованию компьютерного зрения в области производства деревянных развивающих игрушек отсутствуют.

Автором работы в целях решения поставленной задачи были изучены основные нейронные сети, применяемые в компьютерном зрении (в основном сверточные). Они представлены как одноуровневыми, так и двухуровневыми моделями. Широкую распространенность в компьютерном зрении приобрели следующие нейросети: R-CNN (Region-based Convolutional Neural Networks), EfficientNets, VGG (Visual Geometry Group), ResNets, YOLO (You Only Look Once) [3, с. 478–491]. Выбор последней в качестве одного из инструментов для решения поставленной задачи обусловлен в первую очередь скоростью и точностью ее работы при потреблении незначительных вычислительных ресурсов.

**Цель исследования** – разработка и апробация нейросетевой модели для детекции брака на производственном предприятии, осуществляющем выпуск продукции для детей дошкольного возраста, на базе предобученной модели YOLOv8.

### Материалы и методы исследования

Написание кода осуществлялось на языке Python в интерпретаторе VSCode. Гиперпараметры обучения модели:

- epochs = 500,
- imgsz = 640,
- batch = 32,
- patience = 200.

В рамках исследования был использован собственный датасет, представленный 240 снимками и разделенный в следующих пропорциях:

- 192 единицы – обучающая выборка,
- 48 единиц – валидационная.

Разметка снимков проводилась вручную с помощью сервиса CVAT.ai [4]. Для разметки были выделены три уникальных идентификатора в каждом из артикулов, взятых для разметки: «карточки», «фишки», «подставки». Указанные артикулы выбраны ввиду их наибольшей распространенности по недокомплектам в отзывах от покупателей. Разметка проводилась методом «Polygon Shape».

Для преобразования полученных файлов использовался репозиторий с GitHub, расположенный по ссылке: [https://github.com/Koldim2001/COCO\\_to\\_YOLOv8](https://github.com/Koldim2001/COCO_to_YOLOv8) [5]. По итогам отработки кода была получена следующая структура рабочей папки:

- файл data.yaml;
- папка train;
- папка validation.

Папки train и validation, в свою очередь, состояли из папок images и labels, а также файла labels.cache. Папка images представлена файлами с расширением \*.jpg, папка labels – с расширением \*.txt.

Для обучения были выбраны два размера модели YOLOv8 от Ultralytics [6]: yolov8s-seg и yolov8m-seg. Параметры моделей представлены на рис. 1.

Обучение производилось на локальной машине с операционной системой MacOS на чипе m1 и встроенной видеокарты. Как показала практика, выбор аппаратного средства не являлся оптимальным ввиду низкой адаптации ноутбуков на базе указанного чипа под решение аналогичных задач. Обучение меньшей по размеру модели (yolov8s-seg) заняло более 3 суток, большей по размеру (yolov8m-seg) – более 7 суток.

Модель	Размер (пикселей)	mAPbox 50-95	mAPmask 50-95	Скорость CPU ONNX (мс)	Скорость A100 TensorRT (мс)	params (M)	FLOPs (B)
YOLOv8n-seg	640	36.7	30.5	96.1	1.21	3.4	12.6
YOLOv8s-seg	640	44.6	36.8	155.7	1.47	11.8	42.6
YOLOv8m-seg	640	49.9	40.8	317.0	2.18	27.3	110.2
YOLOv8l-seg	640	52.3	42.6	572.4	2.79	46.0	220.5
YOLOv8x-seg	640	53.4	43.4	712.1	4.02	71.8	344.1

Рис. 1. Параметры предобученной модели YOLOv8



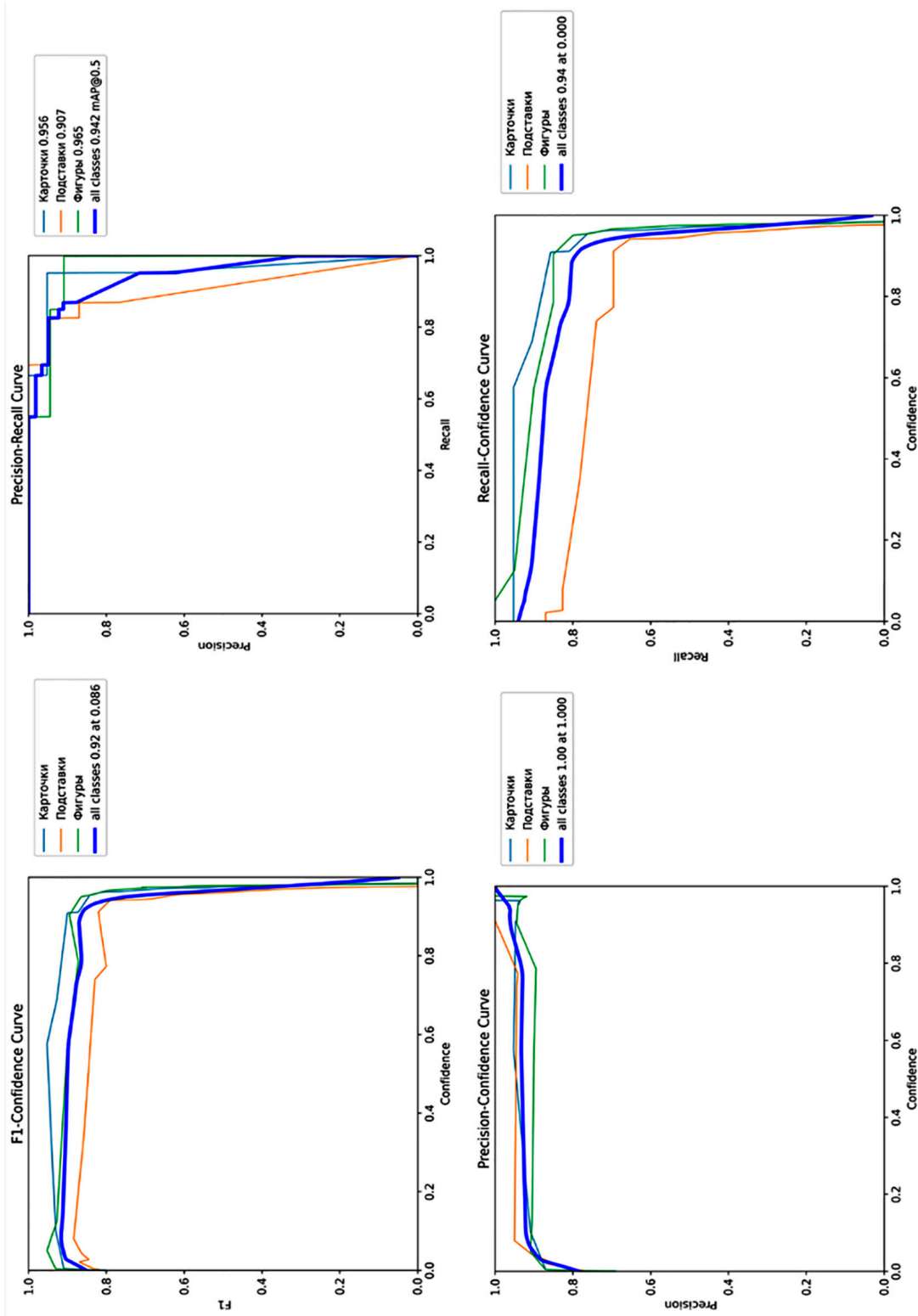


Рис. 2. Графики метрик качества при детекции box '06

### Результаты исследования и их обсуждение

В результате обучения модели были получены следующие данные, представленные на рис. 2. Первый блок полученных параметров представлен графиками «box»'ов, то есть границ детектируемых объектов и корректности определения их классов (меток).

График в левом верхнем углу отражает f1-меру, то есть гармоническое среднее точности (precision) и полноты (recall). Максимум для всех классов (0,92) метрика принимает при значении параметра confidence (уверенность) в 0,086. В то же время скорость «снижения» графика при росте показателя уверенности предсказания является незначительной. Однозначно можно сделать вывод, что при уверенности более 0,9 модель выдает метрику f1 более 0,8, что говорит о высоком качестве ее работы.

Остальные три графика характеризуют уверенность (confidence) работы модели на метриках точности (precision) и полноты

(recall). Можно сделать вывод, что модель уверенно ведет себя при определении точности (значение метрика = 1,0 при confidence = 1,0), то есть 100% точность работы модели. При этом график Precision – Recall curve (правый верхний график) демонстрирует значение точности более 0,9 при полноте более 0,8 с условием threshold = 0,5 по метрике mAP. Метрику полноты (recall) для всех классов снижает возможность определения метки «подставка», что говорит о необходимости расширения датасета в целях обучения модели для детекции именно их.

Отметим, что графики метрик качества для определения масок предметов показывают идентичные результаты, поэтому в настоящей статье данный блок графиков будет упущен.

Следующий блок изображений представлен матрицами ошибок (нормализованной и обычной), корреляционной матрицей меток и описанием представленных меток. Группировка изображена на рис. 3.

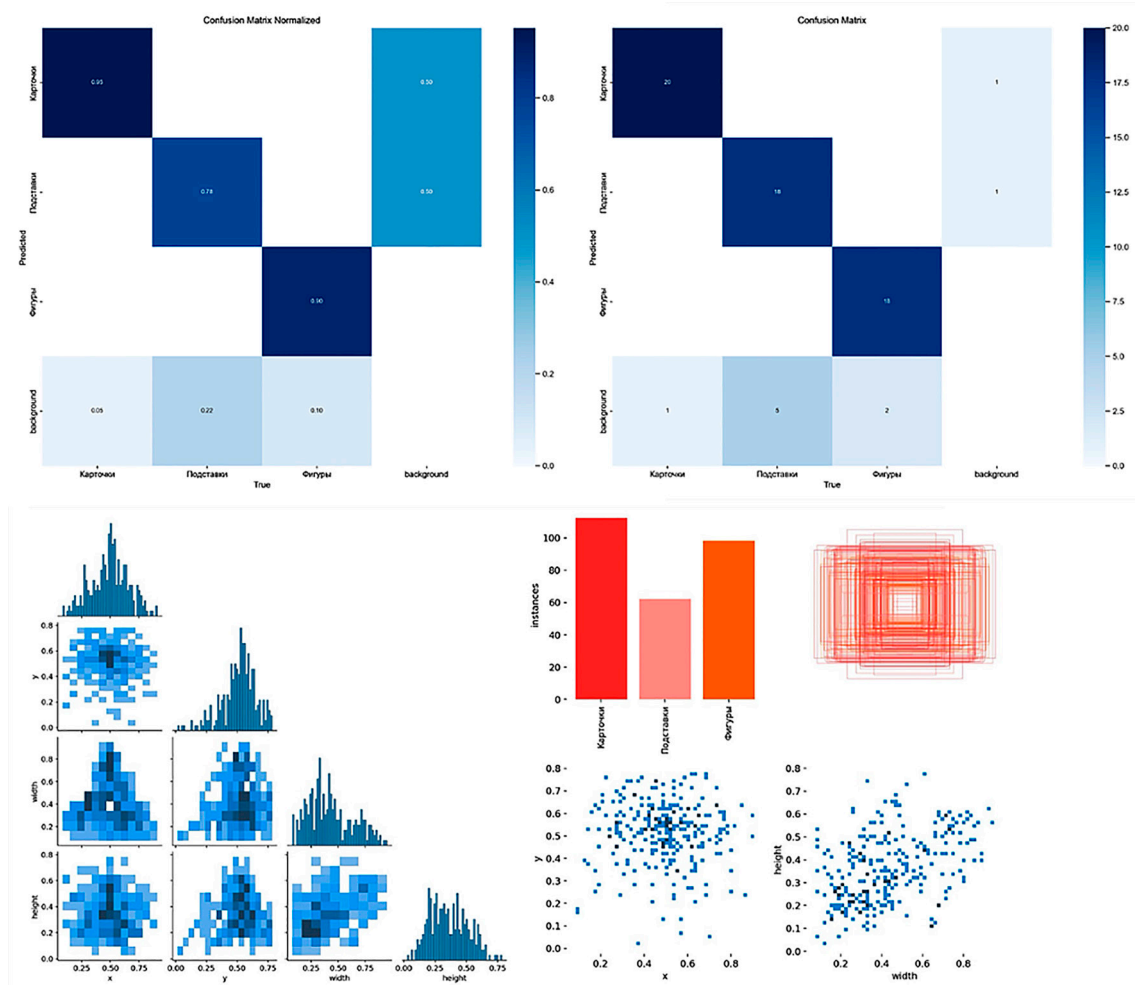


Рис. 3. Графики матриц, полученных в ходе обучения ошибок и меток

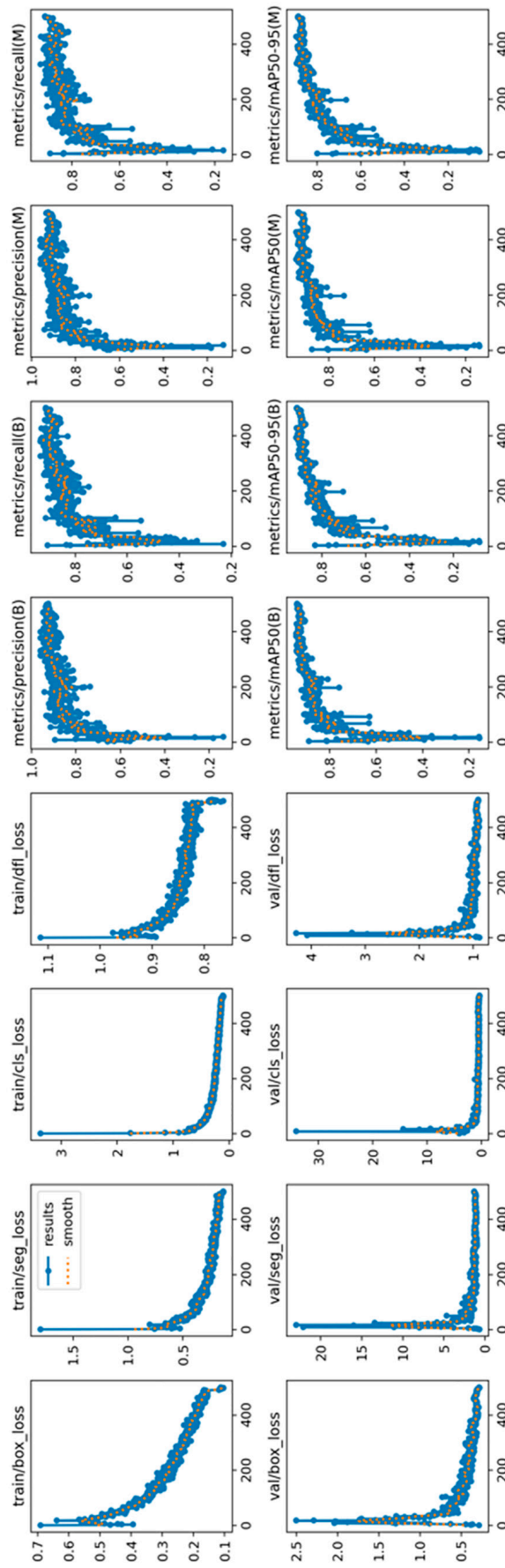


Рис. 4. Графики ошибок, а также средних значений средней точности при различных пороговых значениях IoU, варьирующихся от 0,5 до 0,95

Представленные графики подтверждают гипотезу худшей обработки модели (по сравнению с остальными метками) для определения метки «подставка». Можно увидеть, что при обучении модель «путает» подставку с фоном изображения, либо, наоборот, определяет подставку там, где на фоне ее нет. В свою очередь, по верхнему правому графику можно сделать предположение, что модель обрабатывает подобным образом ввиду наименьшего количества меток «подставка» в изображениях, вошедших в обучающую выборку, и для последующего получения лучших результатов следует дополнить ее именно изображениями с метками «подставка». Но даже с учетом вышенаписанного показатели детекции находятся на высоком уровне (метрика обнаружения объекта с меткой «подставка» равна 0,78).

Одним из основополагающих файлов с точки зрения отслеживания процес-

са обучения модели является файл с изображениями графиков снижения ошибки при обучении, а также графиков средних значений средней точности при различных пороговых значениях IoU, варьирующихся от 0,5 до 0,95. Все метрики, заложенные разработчиками в модель (определение точности построения прямоугольника координат объекта (box), сегментация объекта (seg), определение вероятности отнесения объекта к той или иной метке (cls), определение объекта при его деформации (dff), а также метрики средней точности при перекрытии объекта от 50 до 95 % (mAP)), показывают уверенное снижение (в зону нуля) показателей ошибки, а также увеличение значений точности (в зону единицы) с ростом количества эпох обучения. Результаты представлены на рис. 4.

На рис. 5 представлены примеры детекции объектов в рамках обучения описанной выше модели.



Рис. 5. Пример изображений, получаемых в ходе обучения модели на базе YOLOv8

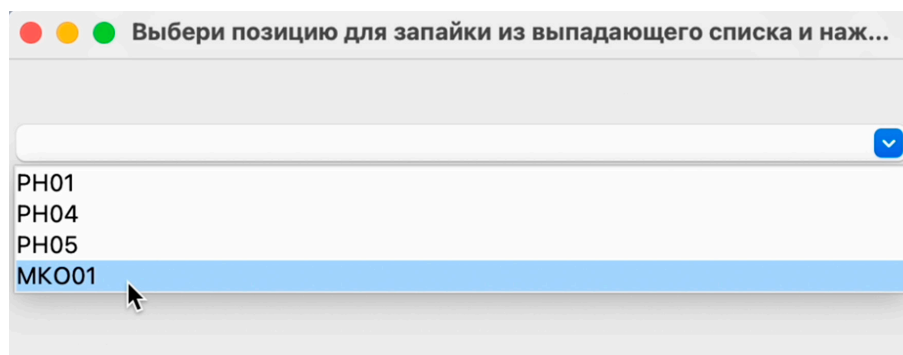


Рис. 6. Пользовательский интерфейс, в который обернута разработанная модель

После обучения модели на языке Python был написан модуль подключения видеокмеры, в том числе беспроводной, для осуществления детекции и блока упрощенного фронтенда для взаимодействия с пользователем с помощью библиотек cv2 [7] и tkinter [8]. На рис. 6 представлен скриншот фронтенда, в рамках которого пользователь выбирает артикул выпускаемого изделия. В рамках работы конвейера при обнаружении детектируемого объекта код считывает количество обнаруженных меток, на которые обучена модель, и сравнивает их количество с количеством единиц выпущенного продукта (они должны совпадать). Оператор станка запайки сравнивает их и при выявлении расхождений проводит повторную проверку партии.

### Заключение

По результатам проведенных экспериментов можно сделать однозначный вывод о том, что разработанный прототип показывает достаточно высокую эффективность при использовании на производстве. Подтверждается гипотеза о возможности использования компьютерного зрения на промышленных предприятиях, осуществляющих разработку продукции для детей. И если в целом компьютерное зрение находит свое применение в крупных отраслях промышленности, то разработанное решение вполне может изменить ситуацию с ручным трудом и отслеживанием брака и в малых формах хозяйствования без потребления значительных ресурсов, что особенно актуально в условиях более жестких мер правительства по борьбе с инфляцией, когда и без того недостаточный доступ к оборотным ресурсам предпринимателей грозит значительным сокращением их общего количества.

Кроме того, обучение предлагаемой модели доказало высокую зависимость от набора данных, из которых происходит формирование исходного датасета. При дальнейшей адаптации продукта к выпуску в промышленное применение требуется дообучить модель для детекции метки «подставка», а также продумать, какие аппаратные средства целесообразно использовать для работы модели непосредственно в рамках конвейерных линий. Таким образом, формируются дальнейшие этапы для научного изыскания.

### Список литературы

1. Всероссийский бизнес-рейтинг. [Электронный ресурс]. URL: <https://lider-otrasli.ru/reiting-predpriyatij.html> (дата обращения: 14.10.2024).
2. Как в 1999-м. В России зафиксировали рекордно низкий уровень рождаемости. [Электронный ресурс]. URL: <https://360.ru/news/obschestvo/kak-v-1999-m-v-rossii-zafiksirovali-rekordno-nizkij-uroven-rozhdaemosti/> (дата обращения: 14.10.2024).
3. Сычугов А.Н., Михайчиков В.Н., Чернышов М.В. Применение нейронных сетей для распознавания объектов на железнодорожном транспорте // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2023. Т. 20. Вып. 2. С. 478–491.
4. Open Data Annotation Platform. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cvat.ai> (дата обращения: 14.10.2024).
5. COCO to YOLO converter for instance segmentation (YOLOv8-seg) and oriented bounding box detection (YOLOv8-obb). [Электронный ресурс]. URL: [https://github.com/Koldim2001/COCO\\_to\\_YOLOv8](https://github.com/Koldim2001/COCO_to_YOLOv8) (дата обращения: 14.10.2024).
6. Ultralytics YOLOv8. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.ultralytics.com/models/yolov8/> (дата обращения: 14.10.2024).
7. OpenCV. [Электронный ресурс]. URL: [https://docs.opencv.org/4.x/d6/d00/tutorial\\_py\\_root.html](https://docs.opencv.org/4.x/d6/d00/tutorial_py_root.html) (дата обращения: 14.10.2024).
8. tkinter – Python interface to Tcl/Tk. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html#module-tkinter> (дата обращения: 14.10.2024).

УДК 681.514  
DOI

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКАСКАДНОГО НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ МОДУЛЬНОГО ТРАЛОВОГО МЕХАНИЗМА

Черный С.П., Хрульков В.Н., Мокрицкий Б.Я.

ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,  
Комсомольск-на-Амуре, e-mail: epapu@kanstu.ru

Цель исследования – разработка интеллектуальной автоматизированной системы управления модульным траловым механизмом, которая позволяет стабилизировать сверхтяжелые крупногабаритные грузы в динамике. Работа системы базируется на использовании математического аппарата нечеткой логики и построена по модульному иерархическому принципу. Основной задачей при синтезе многокаскадного нечеткого логического регулятора для управления модульным траловым механизмом является стабилизация положения сверхтяжелого груза с высоким центром тяжести при возникновении продольных и поперечных отклонений, а также неровностей дорожного покрытия. В работе приведена функциональная схема компоновки модулей многокаскадного нечеткого логического регулятора, представлено математическое описание многокаскадного нечеткого логического регулятора с алгоритмом вывода Такаги – Сугено и проведено математическое моделирование работы гидравлической подвески многосоставного модульного тралового механизма. Имитационное моделирование гидравлической системы многосоставного модульного трала с применением многокаскадного нечеткого логического регулятора показало, что при появлении продольных и поперечных отклонений, а также при возникновении вертикального отклонения между платформами интеллектуальная система синтезирует законы управления, позволяющие стабилизировать элементы модульного тралового механизма относительно друг друга путем изменения положения штоков гидроприводов подвесной системы.

**Ключевые слова:** нечеткий логический регулятор, терм-множество, нечеткое множество, лингвистическая переменная, интеллектуальная система управления, модульный транспортировочный трал, многоопорная машина, модульный траловый механизм

*Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на 2024–2026 гг. по теме «Автоматизация авиастроительных производств с применением средств промышленной робототехники».*

## SIMULATION OF A MULTISTAGE FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR STABILIZATION OF A MODULAR TRAWL MECHANISM

Chernyy S.P., Khrulkov V.N., Mokritskiy B.Ya.

Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, e-mail: epapu@kanstu.ru

The purpose of the work is to develop an intelligent automated control system for a modular trawl mechanism, which allows stabilizing super-heavy large-sized cargo in dynamics. The system operation is based on the use of the mathematical apparatus of fuzzy logic and is built on a modular hierarchical principle. The main task in the synthesis of a multi-stage fuzzy logic controller for controlling a modular trawl mechanism is to stabilize the position of a super-heavy cargo with a high center of gravity in the event of longitudinal and transverse deviations, as well as unevenness of the road surface. The paper presents a functional diagram of the arrangement of modules of a multi-stage fuzzy logic controller, a mathematical description of a multi-stage fuzzy logic controller with the Takagi-Sugeno inference algorithm is presented, and mathematical modeling of the hydraulic suspension of a multi-component modular trawl mechanism is carried out. Simulation modeling of the hydraulic system of a multi-component modular trawl using a multi-cascade fuzzy logic controller showed that when longitudinal and transverse deviations occur, as well as when a vertical deviation occurs between platforms, the intelligent system synthesizes control laws that allow stabilizing the elements of the modular trawl mechanism relative to each other by changing the position of the hydraulic drive rods of the suspension system.

**Keywords:** fuzzy logic controller, term set, fuzzy set, linguistic variable, intelligent control system, modular transport trawl, multi-support machine, modular trawling mechanism

*The work was carried out with the support of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for 2024–2026 on the topic “Automation of aircraft manufacturing using industrial robotics”.*

### Введение

В настоящее время модульные траловые механизмы, которые также называют тяжеловозные модульные трейлеры, являются единственным способом доставки крупногабаритных сверхтяжелых грузов, вес которых может достигать пятнадцати тысяч тонн.

Данный механизм предназначен для транспортировки по суше таких объектов, как фюзеляжи гражданских самолетов, корабли и его модули, мосты, большие цистерны, нефтяные платформы, дома в сборе, статоры генераторов электростанций. Модульный принцип построения дает возможность со-

ставлять из полуприцепов автопоезда, которые позволяют равномерно распределить нагрузку по всему транспортному устройству. Управление модульным траловым механизмом осуществляется с помощью дистанционного пульта оператора. С помощью дистанционного пульта оператор в ручном режиме осуществляет регулировку положений гидропривода и группы гидроприводов, направление движения, а также получает информацию о нагрузке, действующей на оси трала. Комплексные электронные системы, находящиеся на платформе, по большей части являются мониторинговыми, и решение об изменении положения гидроприводов на основе показания с датчиков остается за оператором. Из-за несовершенства системы, основанной на классических методах управления, нередки случаи, когда транспортируемый груз опрокидывался, что приводило к повреждению самого перевозимого объекта, наносило непоправимый ущерб модульному траловому механизму, разрушало дорожное полотно [1; 2]. В связи с перечисленными факторами примене-

ние интеллектуальных методов управления может позволить снизить влияние негативных факторов, действующих на объект управления. В работе изложены результаты исследования по применению многокаскадного нечеткого логического регулятора для управления модульным траловым механизмом за счет суммирования синтезированных сигналов управления нечеткими модулями различного уровня вложенности.

**Цель исследования** заключается в синтезе многокаскадного нечеткого логического регулятора для управления модульным траловым механизмом, позволяющим стабилизировать положение груза при возникновении продольных и поперечных отклонений, а также неровность дорожного покрытия.

**Материалы и методы исследования**

В связи с особенностями транспортировки крупногабаритных сверхтяжелых грузов конфигурация платформ и общее количество гидроприводов в них может различаться в зависимости от веса и габаритов перемещаемого объекта [3, с. 176].

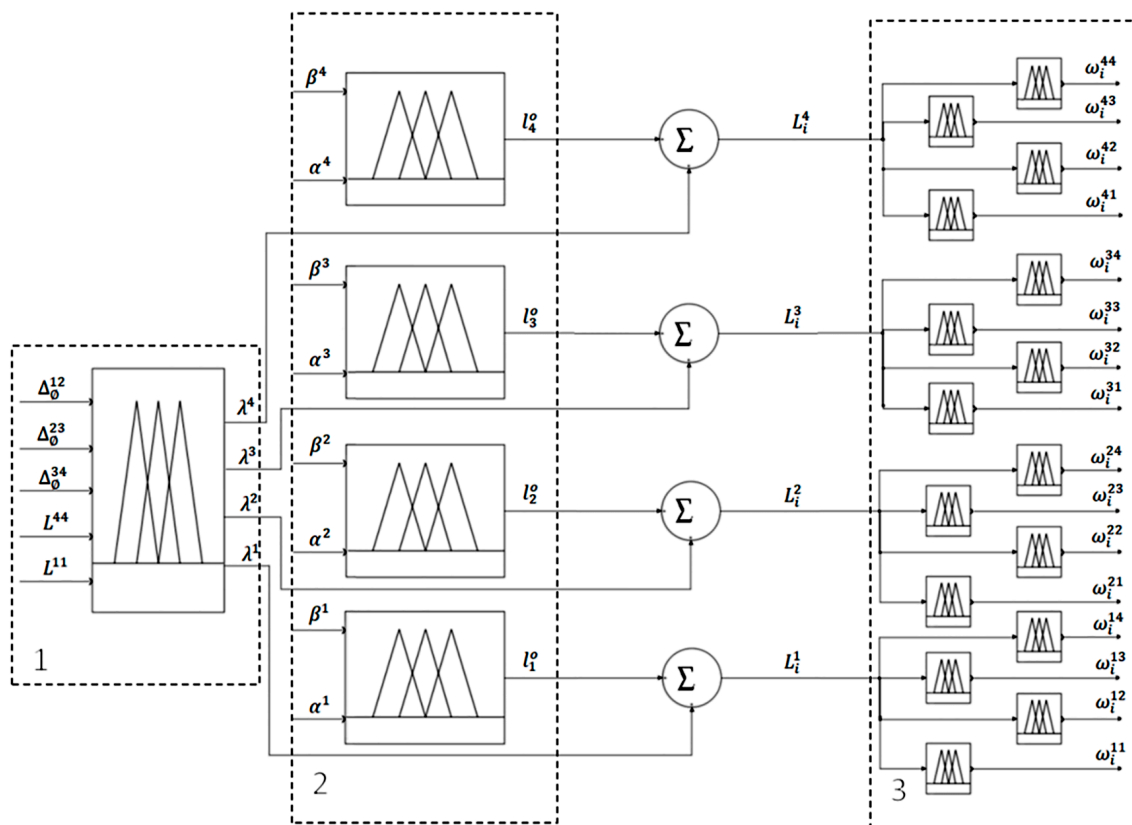


Рис. 1. Функциональная схема компоновки модулей многокаскадного нечеткого логического регулятора: 1 – внешний каскад нечеткого регулятора, отслеживающий рассогласование между платформами и крайними элементами активной подвески; 2 – вложенный каскад 1-го уровня, отслеживающий положение по оси абсцисс и ординат для каждой платформы; 3 – вложенный каскад 2-го уровня, управляющий положением гидроприводов активной подвески

Поэтому интеллектуальная система должна обеспечивать возможность управления стабилизацией объекта с различным количеством гидроприводов. Иерархическое построение нечетких логических регуляторов позволяет осуществлять предиктивную корректировку регулирующего воздействия [4; 5].

Обобщенная функциональная схема нечеткого логического регулятора, организованная по многокаскадному принципу для стабилизации транспортной платформы, представлена на рис. 1.

Работу многокаскадного нечеткого логического регулятора можно формализовать следующим образом: все нечеткие модули настраиваются на нечеткий алгоритм вывода Такаги – Сугено нулевого порядка. Входные нечеткие переменные у каждого регулятора описываются как аппроксимированные функции принадлежности треугольной формы. Для устранения недостатка информации, связанной с отклонением крайних точек состава троса при компенсации подъемов или спуска в интеллектуальную систему, вводятся сигналы передней крайней точки и задней крайней точки активных элементов подвески, а также горизонтальное положение полуплатформ относительно друг друга [6]. Априорный недостаток информации обрабатывается многокаскадным нечетким логическим регулятором для выведения всей системы в единое горизонтальное положение.

В общем виде степени истинности для предпосылок каждого правила нечеткого регулятора верхнего уровня формализуются следующим образом:

$$A_i(\Delta_{\varnothing}^{12}), B_i(\Delta_{\varnothing}^{23}), C_i(\Delta_{\varnothing}^{34}), D_i(L^{44}), E_i(L^{11}),$$

где  $\Delta_{\varnothing}^{12}$ ,  $\Delta_{\varnothing}^{23}$ ,  $\Delta_{\varnothing}^{34}$  – величины отклонений между платформами;  $L^{44}$ ,  $L^{11}$  – сигналы с датчиков положения крайних гидроприводов;  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  – входные функции принадлежности треугольной формы;  $i$  – номер правила в базе знаний ( $i = 1 \dots N_1$ );

На основе операции минимума определим уровни отсечения каждой нечеткой переменной для каждого нечеткого правила:

$$\delta_i = \Lambda(A_i(\Delta_{\varnothing}^{12}); B_i(\Delta_{\varnothing}^{23}); C_i(\Delta_{\varnothing}^{34}); D_i(L^{44}); E_i(L^{11})).$$

Тогда значения выходной переменной, с учетом принятой базы правил, для регулятора верхнего уровня можно вычислить по формуле среднего взвешенного:

$$\lambda^j = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \delta_i c_i}{\sum_{i=1}^{N_1} \delta_i},$$

где  $j$  – количество выходов регулятора;  $c_i$  – выходные константы.

Степени принадлежности для базы знаний НЛР внутреннего каскада, отслеживающие положение по оси абсцисс и ординат для каждой платформы, описывается следующим образом:

$$F_g(\alpha_{\varnothing}^k), G_g(\beta_{\varnothing}^k),$$

где  $g$  – номер правила в базе знаний регулятора второго уровня ( $g = 1 \dots N_2$ );  $\alpha_{\varnothing}^k$  – текущий угол отклонения от нормали по оси абсцисс “ $k$ ”-й полуплатформы;  $\beta_{\varnothing}^k$  – текущий угол отклонения от нормали по оси ординат “ $k$ ”-й полуплатформы.

Аналогично, как и у регулятора верхнего уровня с помощью операции минимума определим уровни отсечения каждой нечеткой переменной для каждого нечеткого правила:

$$\rho_g = \Lambda(F_g(\alpha_{\varnothing}^k), G_g(\beta_{\varnothing}^k)).$$

Значения выходной переменной, с учетом принятой базы правил, для регулятора внутреннего каскада можно вычислить по формуле среднего взвешенного:

$$l_v^o = \frac{\sum_{g=1}^{N_2} \rho_g s_g}{\sum_{g=1}^{N_2} \rho_g},$$

где  $o$  – количество выходов регулятора второго уровня;  $v$  – номер полуплатформы;  $s_g$  – выходные константы.

Управляющий сигнал для элементов внутреннего каскада нижнего уровня управляющие положением гидроприводов можно получить по формуле

$$L_i^k = \lambda^j + l_v^o.$$

На основе полученного сигнала управления регулятор нижнего уровня можно описать следующим образом:

$$\omega_r = \frac{\sum_{r=1}^{N_3} \min H_r(L^k) \sigma_r}{\sum_{r=1}^{N_3} \min \sigma_r}$$

где  $r$  – номер правила в базе нижнего уровня ( $r = 1 \dots N_3$ );  $H$  – функции принадлежности;  $\sigma_r$  – выходные константы.

Таким образом, итоговое значение управляющего воздействия формируемым многокаскадным нечетким логическим регулятором представляет собой сумму значений выходов вложенного каскада на каждый элемент активной подвески каждой полуплатформы [7].

При проектировании и моделировании системы управления были приняты следующие допущения:

– гидравлическая жидкость системы ISO VG 32(ESSO UNIVIS N32);



– конструктивно трал состоит из четырех полуплатформ, каждая из которых опирается на четыре гидравлических привода с датчиками линейного перемещения;

– каждая полуплатформа представляет собой абсолютно жесткую пластину, не подвергающуюся скручиванию и изгибам;

– целостность и твердость шин является абсолютной;

– расстояния между соседними платформами (зазоры) настолько малы, что ими можно пренебречь.

Для стабилизации транспортного трала, состоящего из четырехсекционной транспортной платформы на одном уровне в условиях изменения наклона дорожного полотна, были рассчитаны все ограничения, накладываемые на систему для ее корректной эксплуатации.

Задача системы управления, реализованной в нечетком логическом регуляторе, формирующем уставки внутренних модулей за счет суммирования значений сигналов управления, заключается в удержании всех четырех полуплатформ на одном уровне таким образом, чтобы при движении по дороге, имеющей наклон, не образовывалось вертикального смещения платформ относительно друг друга (рис. 2).

На основе принятых ранее допущений рассматриваемая модель трала состоит из четырех полуплатформ с четырьмя активными элементами подвески в каждой (рис. 2).

Максимальный угол наклона дорожного полотна достигается при условии, что гидроцилиндры 11 и 12 полностью втянуты, а гидроцилиндры 43 и 44 полностью выпущены. Исходя из математического расчета, макси-

мальный допустимый угол наклона дорожного полотна не должен превышать  $2,23^\circ$ .

При движении секции, состоящей из нескольких полуплатформ по наклонной поверхности, неизбежно образуется вертикальное отклонение относительно друг друга. Для создания системы управления на базе внешнего нечеткого логического регулятора, которая позволит стабилизировать платформы, была сформирована продукционная база правил состоящая из 29 правил. Для этого были рассмотрены различные возможные варианты положения полуплатформ, в количестве тридцати двух ситуаций, во время движения по дорожному полотну без наклона, с наклоном в подъем и с наклоном на спуске. На рис. 3 представлена структурная схема гидравлической системы многоопорной транспортной машины состоящих из 4 полуплатформ с внешним нечетким логическим регулятором, формирующим уставки внутренних модулей за счет суммирования значений сигналов управления.

На рис. 4 представлены графики сигналов задания, поступающих на внешний нечеткий регулятор, имитирующих отклонения между платформами, и линейное положение крайних гидроприводов на концах составного модульного трала 44 и 11.

В момент времени с 1 до 6,75 с (зона I), на вход нечеткого логического регулятора поступают сигналы с датчиков положения гидроцилиндров 11 и 44 об одновременном втягивании этих гидроцилиндров, при этом сигналы с датчиков 1–2, 2–3 и 3–4 равны нулю, что соответствует отсутствию наклона между полуплатформами.

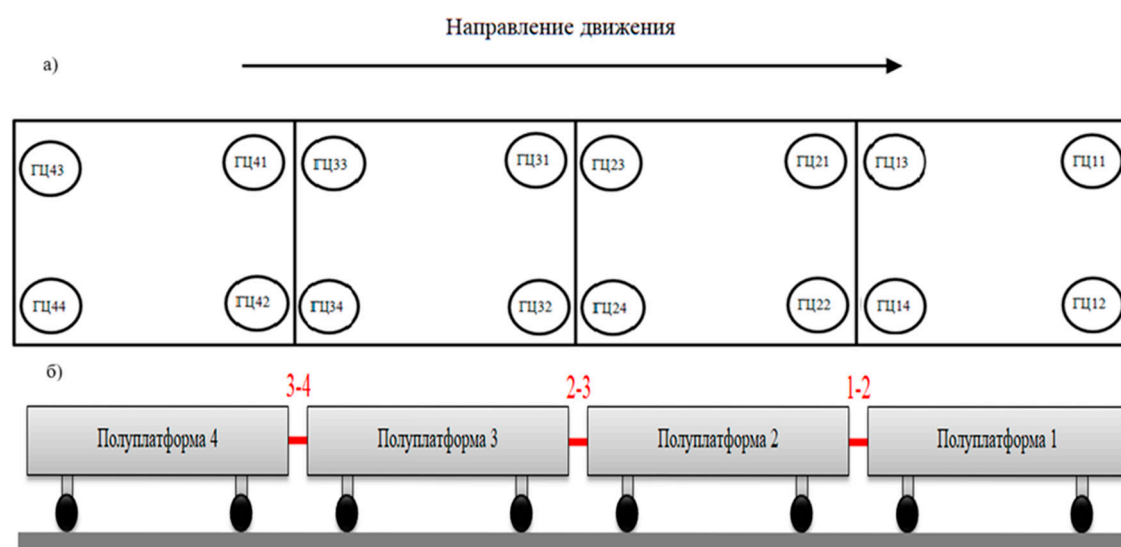


Рис. 2. Модульный траловый механизм:

а) функциональная схема гидравлической системы трала при виде сверху;  
б) главный вид положения платформ при движении по ровной поверхности.

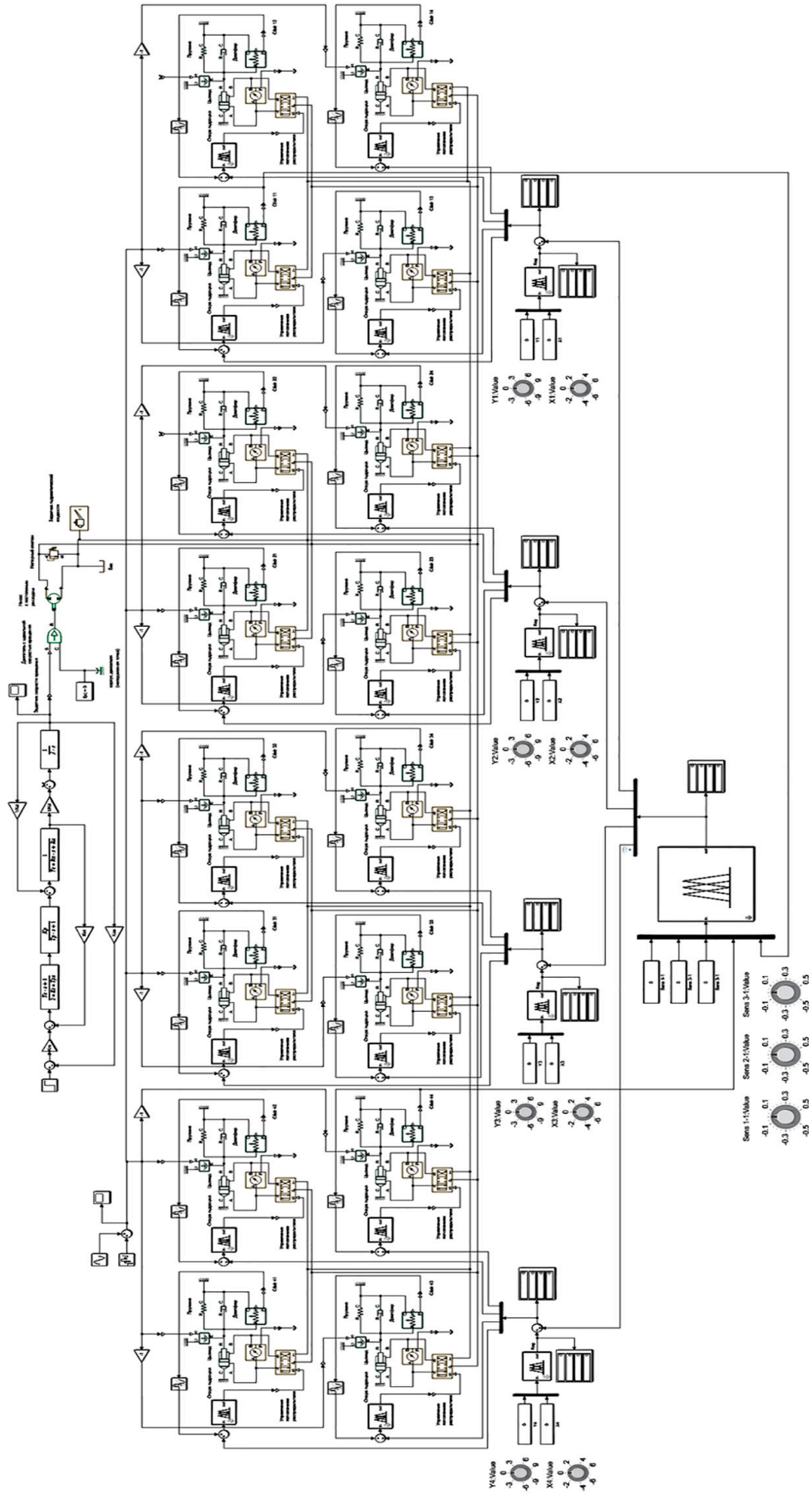


Рис. 3. Структурная схема гидравлической системы четырех полулатформ с нечетким логическим регулятором, формирующим уставку внутренних модулей за счет суммирования значений сигналов управления

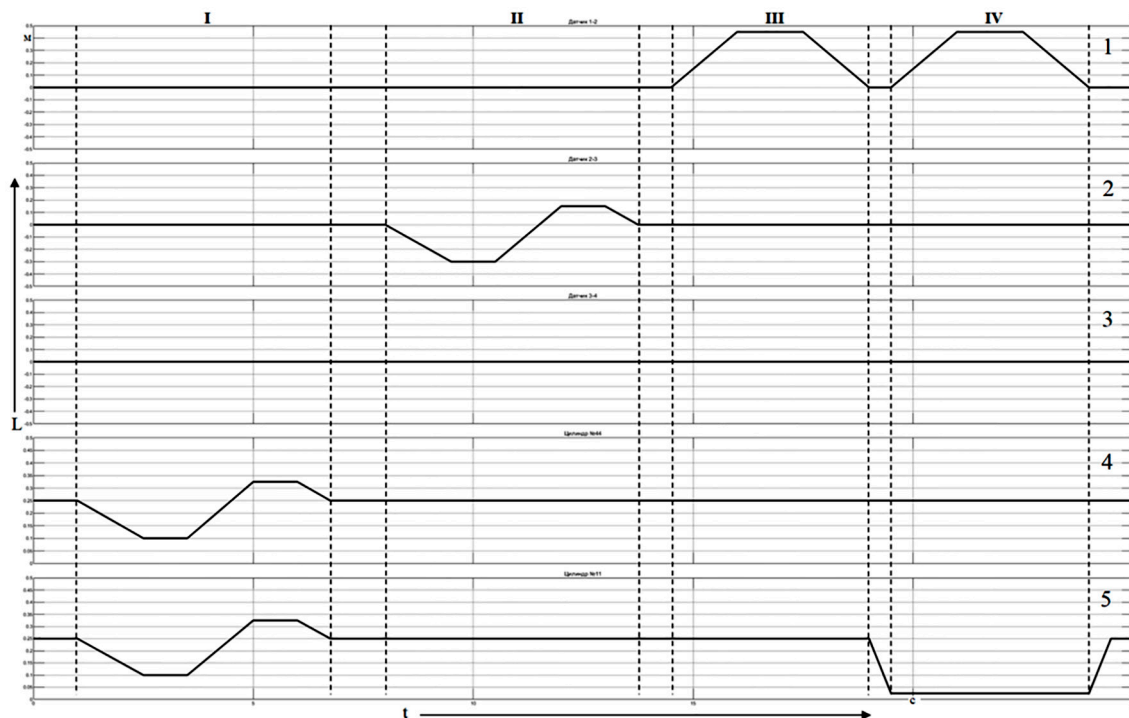


Рис. 4. Графики сигналов задания входных параметров, поступающих в нечеткий логический регулятор:  
 1 – отклонение между платформами 1 и 2; 2 – отклонение между платформами 2 и 3;  
 3 – отклонение между платформами 3 и 4; 4 и 5 – положение гидроприводов

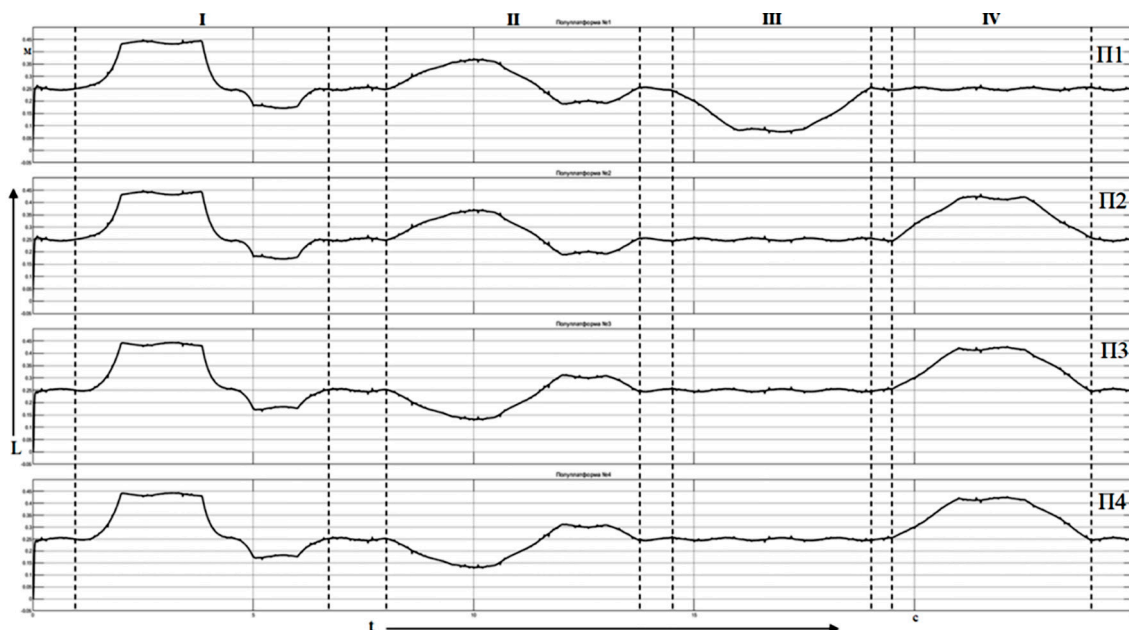


Рис. 5. Графики переходных процессов в гидроприводах при подаче на систему возмущающего воздействия в виде синусоидального сигнала с белым шумом

На основании входных значений НЛР формирует управляющий сигнал в соответствии с определенным правилом – выдвинуть все гидроцилиндры четырех полу-платформ, позволяющий скорректировать положение траля (рис. 5).

Через некоторое время сигналы с датчиков положения гидроцилиндров 11 и 44 меняются на противоположные, что означает о выдвигении гидроцилиндров. Реагируя на это, НЛР формирует управляющий сигнал в соответствии с заданным правилом –

втянуть все гидроцилиндры четырех полу- платформ, позволяющий скорректировать положение трала.

В момент времени с 8 до 13,75 с (зона II), на вход НЛР поступает сигнал с датчика 2–3 положения полу- платформ № 2 и № 3, при этом сигналы с датчиков 1–2 и 3–4 равны нулю. Гидроцилиндры 11 и 44 находятся в среднем положении. Данный сигнал соответствует положению, когда полу- платформы № 1 и № 2 располагаются на одном уровне и одновременно выше уровня полу- платформ № 3 и № 4, полу- платформы № 3 и № 4 располагаются на одном уровне. На основании входных значений НЛР формирует управляющий сигнал в соответствии с правилом – выдвинуть все штоки полу- платформ № 1 и № 2 и втянуть все штоки полу- платформ № 3 и № 4, позволяющий скорректировать положение трала. Через некоторое время сигнал с датчика 2–3 положения полу- платформ № 2 и № 3 меняется на противоположный, что соответствует положению, когда полу- платформы № 1 и № 2 располагаются на одном уровне и одновременно выше уровня полу- платформ № 3 и № 4, полу- платформы № 3 и № 4 располагаются на одном уровне. Реагируя на входные значения, НЛР формирует управляющий сигнал в соответствии с правилом – втянуть все штоки полу- платформ № 1 и № 2 и выдвинуть все штоки полу- платформ № 3 и № 4, позволяющий скорректировать положение трала (рис. 5).

В момент времени с 14,5 до 19 с (зона III), на вход к НЛР поступает сигнал с датчика 1–2 положения полу- платформ № 1 и № 2, при этом сигналы с датчиков 2–3 и 3–4 равны нулю. Гидроцилиндры 11 и 44 находятся в среднем положении. Данный сигнал соответствует положению, когда полу- платформа № 1 выше уровня остальных полу- платформ, полу- платформы № 2, 3 и 4 располагаются на одном уровне. Реагируя на входные значения, НЛР формирует управляющий сигнал в соответствии с правилом – втянуть все штоки полу- платформы № 1, не изменять положение гидроцилиндров полу- платформ № 2, 3 и 4, позволяющий скорректировать положение трала (рис. 5).

В момент времени с 19,5 до 24 с (зона IV), на вход к НЛР поступает сигнал с датчика 1–2 положения полу- платформ № 1 и № 2, при этом сигналы с датчиков 2–3 и 3–4 равны нулю. Гидроцилиндр 44 находится в среднем положении, гидроцилиндр 11 выдвинут практически на упор. Данный сигнал соответствует положению, когда полу- плат-

форма № 1 выше уровня остальных полу- платформ, полу- платформы № 2, 3 и 4 располагаются на одном уровне, но так как гидроцилиндр 11 выдвигаться более не может, то использование правила невозможно. Реагируя на входные значения, НЛР формирует управляющий сигнал в соответствии с правилом – все штоки полу- платформ № 2, 3 и 4 втянуть, не изменять положение гидроцилиндров полу- платформы № 1, позволяющих скорректировать положение трала (рис. 5).

### Заключение

В итоге исследования переходных процессов в гидроприводах модульного тралового механизма сделан вывод, что простроенный по иерархическому принципу нечеткий логический регулятор с применением оператора суммы позволяет компенсировать линейное рассогласование между платформами с помощью каскада внешнего путем синтеза управляющего воздействия на модули внутреннего каскада. В свою очередь, модули внутреннего каскада, реализующие стабилизацию платформы в продольном и поперечном направлении, проявляют адаптивные свойства к внешним возмущающим факторам, таким как неровность дорожного покрытия, представленного в виде синусоиды.

### Список литературы

1. Малиновский М.П. Системы управления колесных машин: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2018. 100 с.
2. Гладов Г.И. Типы многоопорных самоходных большегрузных транспортных средств и особенности их движения по криволинейной траектории // Вестник МАДИ. 2014. Т. 37, Вып. 2. С. 43–47.
3. Буренин В.В. Гидравлические и пневматические системы транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: учебное пособие. М.: Филиал ФГУП «ЦЭНКИ»-КБТХМ, 2017. 218 с.
4. Ву Хай Куан Моделирование и управление активной подвеской для модели ¼ автомобиля // МАНФ-2020 «Наземные интеллектуальные транспортные средства и системы» АВТОНЕТ– 2020 «Форум инновационных транспортных технологий». 2020. С. 1–8.
5. Yin C., Zhai X., Sun X., Wang S., Wong P.K. Design and performance research of a hydro-pneumatic suspension with variable damping and stiffness characteristics // Journal of Mechanical Science and Technology. 2022. Vol. 36. P. 4913–4923. DOI: 10.1007/s12206-022-0905-0.
6. Chandekar B., Lagdive H.D. Design of Electro-Hydraulic Active Suspension System for Four Wheel Vehicles // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2014. Vol. 4, Is. 4. P. 885–889.
7. Черный С.П., Хрульков В.Н. Моделирование многокаскадного нечеткого логического регулятора для управления многосоставным траловым механизмом на основе оператора сложения // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2023. № 5 (69). С. 53–60. DOI: 10.17084/20764359-2023-69-53.

## СТАТЬИ

УДК 378.1  
DOI**ОЦЕНКА СФОРМИРОВАННОСТИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ У АСПИРАНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ КУРСА «ПЕДАГОГИКА И ПСИХОЛОГИЯ»**

Алпатова А.И.

*ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, e-mail: anna.alpatova@list.ru*

Цель настоящей статьи заключается в осуществлении содержательного анализа существующих критериев оценки универсальных компетенций, формулировании и представлении маркеров для осуществления оценивания уровня сформированности трансверсальных компетенций среди аспирантов-медиков Сеченовского университета при прохождении дисциплины «Психология и педагогика». В качестве методов автор использует анализ отечественных источников литературы, содержащих результаты исследований в области оценки сформированности метакомпетенций у научно-педагогических кадров в образовательном процессе. Обзор научных исследований составил фундаментальную платформу для проектирования предикторов котирувки трансверсальных навыков в аспекте освоения вариативного курса «Педагогика и психология» среди первокурсников Сеченовского университета, обучающихся в рамках медицинских специализаций. Проведенное исследование привело к предложению и внедрению в образовательный процесс аспирантуры университета оценочных карт, удовлетворяющих требованиям образовательных стандартов и включающих как рубрикатор самой компетенции, так и оцениваемое ее содержание, представление задания практической направленности, критерии и показатели оценивания. Проектирование инструментов оценки было основано на стратегии Evidence-centered Design, предлагающей структурированное и логичное выстраивание их содержания. Реализация стратегии Evidence-centered Design в условиях высшей медицинской школы позволила автору прийти к выводу об эффективности разработанной оценочной системы универсальных компетенций и возможности ее применения в условиях подготовки высококвалифицированных специалистов.

**Ключевые слова:** универсальные компетенции, трансверсальные навыки, Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования 3++, метакомпетенции, критерии оценки универсальных компетенций, аспиранты медицинского вуза

**ASSESSMENT OF THE FORMATION OF UNIVERSAL COMPETENCES OF POSTGRADUATE STUDENTS OF MEDICAL SCHOOL IN THE PROCESS OF MASTERING THE COURSE “PEDAGOGY AND PSYCHOLOGY”**

Alpatova A.I.

*I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, e-mail: anna.alpatova@list.ru*

The purpose of this article is to carry out a meaningful analysis of the existing criteria for assessing universal competencies, to formulate and present markers for the implementation of the process of assessing the level of formation of transversal competencies among postgraduate medical students of Sechenov University in the course of the discipline “Psychology and Pedagogy”. As methods, the author uses the analysis of domestic literature sources containing the results of research in the field of assessing the formation of metacompetencies among scientific and pedagogical staff in the educational process. The review of scientific research formed a fundamental platform for designing predictors of transversal skills quotation in the aspect of mastering the variant course “Pedagogy and Psychology” among first-year students of Sechenov University studying within the framework of medical specializations. The conducted research led to the proposal and implementation in the educational process of postgraduate studies of the university of assessment cards that meet the requirements of educational standards and include both the rubric of the competence itself and its content to be assessed, the presentation of practical tasks, criteria and indicators of assessment. The design of assessment tools was based on the Evidence-centered Design strategy, offering a structured and logical arrangement of their content. The implementation of the Evidence-centered Design strategy in the conditions of higher medical school allowed the author to conclude that the developed assessment system of universal competencies is effective and can be applied in the conditions of training highly qualified specialists.

**Keywords:** universal competences, transversal skills, Federal State Educational Standard of Higher Education 3++, metacompetences, criteria for evaluation of universal competences, postgraduate students at medical university

**Введение**

Одним из ключевых аспектов формирования профессионализма является развитие у индивида устойчивых трансверсальных навыков, основанных на качественных ха-

рактеристиках личности, таких как адаптивность, коммуникабельность и критическое мышление.

Определение трансверсальных компетенций, основанное на работах С.С. Гречихина и О. Мухидовой, предполагает овладе-

ние навыками, адаптированными к различным профессиональным областям и видам деятельности, в соответствии с индивидуальными ценностными установками личности [1, 2]. Соглашаясь с предложенным трактованием, термины «трансверсальные компетенции» и «универсальные компетенции» в исследовании будем рассматривать как синонимичные.

Концепция определения универсальных компетенций основывается на американском подходе к разделению профессиональных навыков на «гибкие» (soft skills) и «жесткие» (hard skills) компетенции.

Шесть групп универсальных компетенций (УК) в контексте высшей медицинской школы играют ключевую роль в подготовке специалистов на основе принципа универсализма. Эти компетенции охватывают аналитическое мышление, проектирование стратегий, коллективную деятельность и доминирование, информационное взаимодействие, а также автономность и личностное развитие. Они способствуют формированию необходимых навыков и качеств для успешной карьеры в области медицины и смежных дисциплин.

Исследование становления трансверсальных компетенций и их интерференции в эффективном достижении учебных результатов в процессе подготовки научно-педагогических кадров в сфере здравоохранения изложено в ряде научных публикаций, в том числе в трудах В.И. Клинга, Ю.Б. Дроботенко [3, 4]. Ученые утверждают, что универсальные компетенции тождественны европейскому обозначению «мягких навыков» (soft skills) и неразделимо сопряжены с качественной подготовкой квалифицированного специалиста.

В настоящее время актуальной проблемой является оценка степени сформированности универсальных компетенций в рамках высшего образования. Ключевым вызовом является недостаток концептуальной определенности в понимании универсальных компетенций и отсутствие четких методов их фиксации и квалитметрии. Незвизирая на то, что универсальные компетенции согласно ФГОС ВО 3++ являются очевидным и неоспоримым компонентом профессиональной подготовки, формулировки данных компетенций недостаточно конкретизированы, что определяет большое экспериментальное поле для их трактования и формирования. В связи с вышесказанным унифицированная форма параметров и индикаторов оценки способна решить данную проблему.

**Цель исследования** заключается в осуществлении содержательного анализа суще-

ствующих критериев оценки универсальных компетенций, формулировании и представлении маркеров для оценивания уровня сформированности трансверсальных компетенций среди аспирантов-медиков Сеченовского университета при прохождении дисциплины «Психология и педагогика».

### **Материалы и методы исследования**

Исследование включало анализ российских ресурсов (научные электронные библиотеки и информационно-аналитические порталы: НЭБ, РФФИ, eLIBRARY.RU, КиберЛенинка) с целью поиска информации о функционирующих в образовательной практике спецификациях оценки сформированности компетенций (в том числе метакомпетенций) в образовательной среде. Предложены предикторы для оценки трансверсальных навыков у аспирантов-медиков Сеченовского университета при прохождении образовательного модуля «Педагогика и психология».

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (ФГОС ВО 3++) определен универсальный набор компетенций, единых для всех уровней и специализаций. Эти универсальные компетенции представляют собой надпрофессиональные навыки, которые обеспечивают успешное функционирование индивида в разнообразных профессиональных и социальных контекстах.

В связи с тем, что универсальные компетенции не связаны с конкретными предметами, проектирование конструктов оценки может по праву считаться затруднительной задачей.

Универсальные компетенции обладают надпрофессиональным характером, однако их развитие тесно связано с профессиональной средой образовательных программ. Это подразумевает одновременное освоение профессиональных, общепрофессиональных и универсальных компетенций.

Согласно И.Ю. Тархановой, оценку сформированности метакомпетенций у обучающегося можно осуществить с учетом двух подходов: неперсонифицированного (выделение наличия признаков формирования УК); персонифицированного (рейтинговая система учета индивидуальных достижений) [5, с. 205]. В своем исследовании автор детально изучает методы оценки при неперсонализированном подходе, который предполагает интеграцию и учет образовательных результатов всех компетенций, формируемых в процессе обучения. Однако

автор отдает предпочтение персонифицированному подходу, основанному на представлении портфолио, для оценки сформированности универсальных компетенций.

Автор выражает несогласие с утверждением И.Ю. Тархановой о том, что создание портфолио направлено на объективную оценку рассматриваемых компетенций. Автор настоящей статьи убежден, что оценка должна основываться на универсальных и поддающихся измерению критериях, которые позволят отслеживать прогресс и развитие компетенций. Вследствие этого возникает потребность в качественном и надежном инструменте измерения, способном контролировать уровень сформированности компетенций.

М.В. Осипов выделяет следующие базовые критерии для оценивания сформированности метакомпетенций у обучающихся: постановка целей, организация, мониторинг результатов познавательной деятельности с опорой на самоанализ [6, с. 43].

Ю.А. Карпушина и З.Ю. Кутузова, определяя оптимальное средство, способное качественно измерить уровень сформированности универсальной компетенции у обучающихся в вузе выделяют организацию условий, позволяющих студентам действовать по собственному усмотрению в решении ситуаций, предполагающих поиск

ответа, отклоняющегося от стандартного (технология case-study) [7].

М.Д. Бершадской были предложены индикаторы для оценки сформированности универсальных компетенций студентов, которые автор основал на преемственности образовательных ступеней бакалавр-магистр [8].

Согласно исследованию О.С. Гилязовой, лидирующей концепцией в сфере диагностирования рассматриваемых компетенций, выступает технология Evidence-centered Design или «метод верификации» [9].

Проектирование системы измерения на основании данной стратегии основано в рамках четких алгоритмизированных действий:

1. Установление предметного диапазона: определение образовательных результатов (формируемых компетенций). Итогом данного действия будет выступать определение организационных элементов для последующей реализации системы.

2. Формулирование и представление макета стратегии: иерархичное построение компонентов, описание предикторов к каждому параметру.

3. Наполнение стратегии практически материалами: инкорпорирование пошаговых действий с подробными инструкциями к ним, расставление акцентов на ключевых аспектах стимульного материала.

Таблица 1

Моделируемые трансверсальные компетенции аспирантов медицинских специализаций Сеченовского университета при прохождении модуля «Психология и педагогика»

Обозначение компетенции	Содержательная сторона	Предполагаемая форма организации
УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Знать тенденции современной науки	Лекции
	Уметь оценивать научные достижения в изучаемой направленности	Лекции
	Владеть формами и методами научного познания	Самостоятельная внеаудиторная работа
УК-5. Способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности	Знать определение понятий социальной и этической ответственности при принятии решений	Лекции
	Уметь применять принципы этики в практической деятельности	Самостоятельная внеаудиторная работа
УК-6. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	Знать основные правила и приемы самоорганизации и самообразования	Лекции
	Уметь формулировать цели профессионального и личностного развития; самостоятельно овладевать знаниями и навыками их применения в профессиональной деятельности	Самостоятельная внеаудиторная работа
	Владеть умением организовать свою деятельность; способностью к самоанализу и самоконтролю, к самообразованию и самосовершенствованию	

Таблица 2

Оценочная карта для определения уровня сформированности универсальных компетенций аспирантов медицинского вуза

Универсальная компетенция	Оцениваемое содержание компетенций	Содержание практического задания (ситуационная задача)	Критерии оценки	Показатели оценивания	
				Баллы	0, 1, 2*
УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских задач, в том числе в междисциплинарных областях	1. Уметь выявлять и излагать составные части, элементы общей системы. 2. Уметь обобщать детали, делать выводы	<i>Ситуационная задача. Определить лекарственное средство по описанию эффектов и применению.</i> Лекарственное средство применяется при всех видах анестезии. Активное прокаином в 2,5 раза, при этом действие более продолжительное. Препарат также может использоваться в качестве противоритмического средства	1. Способность анализировать и обобщать информацию 2. Способность делать обоснованные выводы на основе интерпретации информации, разъяснения 3. Достаточность и обоснованность пояснений		
УК-5. Способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности	1. Уметь принимать решения, совершать действия, в том числе в нестандартных ситуациях. 2. Уметь анализировать альтернативные варианты действий, определять меру ответственности и этической ответственности за принятые решения	<i>Ситуационная задача. Условие:</i> Аспирант кафедры хирургии медицинского университета находился в отпуске и ехал со своей семьей на дачу на личном автомобиле, когда дорогу из города перекрыли вследствие аварии. Выйдя из машины, аспирант заметил пострадавшего мужчину, который лежал на обочине дороги в тяжелом состоянии. У мужчины был открытый перелом правой бедренной кости с кровотечением. Аспирант также услышал, как автоинспектор вызывает скорую помощь. Вскоре дорогу открыли, и врач решил не останавливаться, посчитав, что в тот момент он не мог оказать медицинскую помощь. <i>Вопросы:</i> 1. Должен ли был врач оказать необходимую медицинскую помощь в данной ситуации? 2. Возможно ли врача вследствие этого привлечь к юридической ответственности? Обоснуйте. 3. Существуют ли уважительные причины для врача, позволяющие оперировать без оказания медицинской помощи?	1. Способность анализировать и обобщать поведение 2. Способность синтезировать адекватные ответы 3. способность делать обоснованные выводы на основе интерпретации информации, разъяснения; 4. достаточность пояснений.		
УК-6. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	1. Уметь формулировать цели профессионального и личностного развития. 2. Уметь обобщать раз-личные источники информации.	<i>Самостоятельно составить ситуационную задачу и представить ее в виде таблицы (смотреть под таблицей).</i>	1. Способность синтезировать новую информацию 2. Неординарность подхода к решению		

\*Примечание. Характеристика баллов: 0 – показатель отсутствует; 1 – показатель присутствует частично; 2 – показатель выражен.



#### 4. Установление механизма оценивания [9].

Выделяя данную стратегию как наиболее успешную, поскольку она отражает логику выстраивания инструментов оценки, а также, учитывая все научные исследования в данной области, автор спроектировал оценочную систему, направленную на установление параметров сформированности универсальных компетенций в процессе самостоятельной деятельности у аспирантов-медиков Сеченовского университета в контексте профессионального модуля «Психология и педагогика». В табл. 1 отражены основные составляющие формируемых универсальных компетенций у обучающихся.

В табл. 2 отражен конструкт параметров оценки выделенных универсальных компетенций.

#### Заключение

Предложенная карта оценивания была реализована в рамках указанного курса среди аспирантов медицинской специализации, обучающихся на 1 курсе ФГАОУ ВО ПМГМУ им. И.М. Сеченова в качестве инструмента для определения стартового и итогового уровня сформированности универсальных компетенций. Оценочная карта итогового контроля включала аналогичную структуру оценки с модифицированным (усложненным) содержанием заданий.

Результаты сравнительного анализа конечного и стартового контроля, подробно раскрытые в статье автора «Технология организации самостоятельной работы как средство формирования универсальных компетенций аспирантов медицинского вуза», позволили определить наличие положительной динамики сформированности универсальных компетенций среди 198 обучающихся, что подтверждает эффективность подхода оценки, основанного на стратегии Evidence-centered Design [10]. Вышесказанное обуславливает, что данный оценочный инструмент прошел эмпирическую проверку и может быть реализован в условиях высшей медицинской школы.

Оценивание трансверсальных компетенций характеризуется повышенной трудоемкостью преимущественно для преподавательского состава. Несмотря на то, что образовательные учреждения вправе устанавливать параметры и индикаторы достижения

этих компетенций по своему усмотрению в учебных программах (на основании ФГОС ВО 3++), предоставление такой свободы порождает разрозненность подходов к решению данного вопроса.

Эффективная система оценки универсальных компетенций с использованием всего потенциала университетской среды существенно повышает шансы на подготовку профессионалов, способных внедрять новые технологии, управлять проектами, быть креативными, системно и критически мыслить, а также работать в команде.

#### Список литературы

1. Гречихин С.С. Внедрение учебной программы по развитию трансверсальных компетенций у студентов медицинского университета // АНИ: педагогика и психология. 2020. Т. 9, № 4 (33). С. 93–95.
2. Мухидова О. Формирование трансверсальных компетенций – приоритетная задача преподавателей высшей школы // Общество и инновации. 2022. Т. 2, № 11/С. С. 394–398.
3. Клинг В.И., Сивоконева Ю.М. Управление процессом развития, формирования и оценки универсальных компетенций в условиях академической среды медицинского вуза // Педагогическое образование в России. 2022. № 4. С. 77–88.
4. Дроботенко Ю.Б., Назарова Н.А. Оценка универсальных компетенций студентов неязыковых специальностей // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Психолого-педагогические науки». 2021. Т. 18, № 3. С. 85–102.
5. Измерение и оценка сформированности универсальных компетенций обучающихся при освоении образовательных программ бакалавриата, магистратуры, специалитета: коллективная монография / Под науч. ред. докт. пед. наук И.Ю. Тархановой. Ярославль: РИО ЯГПУ, 2018. 383 с.
6. Осипов М.В. Формирование метакомпетентности обучающихся в образовательном процессе вуза: дис. ... канд. пед. наук. 5.8.1. Общая педагогика, история педагогики и образования. Красноярск, 2023. 178 с.
7. Карпушина Ю.А., Кутузова З.Ю. Особенности измерения и оценки универсальных компетенций у студентов вузов // Концепт. 2022. № 6. С. 139–153.
8. Бершадская М.Д., Серова А.В., Чепуренко А.Ю., Зима Е.А. Компетентностный подход к оценке образовательных результатов: опыт российского социологического образования // Высшее образование в России. 2019. Т. 28, № 2. С. 38–50.
9. Гилязова О.С., Замощанская А.Н., Замощанский И.И. К вопросу о формировании универсальных компетенций в современном высшем образовании: теоретические подходы и логика эффективности // Общество: социология, психология, педагогика. 2022. № 7. С. 152–157.
10. Алпатов А.И. Технология организации самостоятельной работы как средство формирования универсальных компетенций аспирантов медицинского вуза // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 7. С. 107–111. DOI: 10.17513/snt.40093.

УДК 372.851  
DOI

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАНИМАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ

Аргунова Н.В., Попова А.М.

*ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,  
Якутск, e-mail: nargunova@yandex.ru, poalmi@list.ru*

Основная цель исследования – обозначить методические аспекты использования занимательных задач, которые будут содействовать развитию познавательного интереса и формированию умения решать задачи. На основе теоретического анализа описаны психолого-педагогические особенности обучающихся 11–12 лет, изучение психолого-педагогической и методической литературы позволило выделить различные трактовки понятия «занимательная задача», основные тенденции и специфические моменты в применении элементов занимательности на уроках математики, выделен ряд характерных особенностей, которым обладают занимательные задачи. Авторы приходят к мысли, что занимательный материал должен не только развлекать, но и обучать, развивать и стимулировать познание обучающихся, не должен ограничиваться только играми и забавными заданиями. Наибольшее разнообразие занимательных задач возможно использовать на уроках закрепления и повторения учебного материала с целью выявить возможные пробелы и затруднения обучающихся в изучении конкретной темы. Рассмотрены примеры использования занимательных задач на разных этапах урока математики. Приведены результаты педагогического исследования в двух направлениях: наблюдение за проявлениями познавательного интереса и умением решать задачи. Согласно полученным результатам, использование разнообразных занимательных элементов различной формы и длительности позволяет сохранить серьезный и глубокий подход к изучению математики, создает в классе положительную и поддерживающую эмоциональную обстановку, стимулируя мотивацию учеников к дальнейшему изучению предмета.

**Ключевые слова:** обучение математике, занимательные задачи, обучающиеся 11–12 лет

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING ENTERTAINING TASKS IN MATHEMATICS LESSONS

Argunova N.V., Popova A.M.

*North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: nargunova@yandex.ru, poalmi@list.ru*

The main purpose of the study is to identify methodological aspects of the use of entertaining tasks that will contribute to the development of cognitive interest and the formation of the ability to solve problems. Based on the theoretical analysis, the psychological and pedagogical features of students aged 11–12 are described, the study of psychological, pedagogical and methodological literature has allowed us to identify various interpretations of the concept of “entertaining task”, the main trends and specific moments in the application of elements of entertainment in mathematics lessons, a number of characteristic features that entertaining tasks possess are highlighted. The authors come to the conclusion that entertaining material should not only entertain, but also teach, develop and stimulate students’ cognition, should not be limited only to games and fun tasks. The greatest variety of entertaining tasks can be used in lessons to consolidate and repeat educational material, in order to identify possible gaps and difficulties for students in studying the material of a specific topic. Examples of using entertaining tasks at different stages of a math lesson are considered. The results of pedagogical research are presented in two directions: observation of the manifestations of cognitive interest and the ability to solve problems. According to the results obtained, the use of a variety of entertaining elements of various shapes and durations allows you to maintain a serious and in-depth approach to the study of mathematics, creates a positive and supportive emotional environment in the classroom, stimulating the motivation of students to further study the subject.

**Keywords:** teaching mathematics, entertaining tasks, students aged 11–12

### Введение

Математика является одним из важнейших предметов в школьной программе, способствует развитию логического и абстрактного мышления, а также навыков рассуждения и доказательств. Однако современные школьники теряют интерес к математике. Это происходит потому, что традиционные методы обучения не всегда вызывают интерес у обучающихся. Поэтому учителю следует использовать любые возможности, чтобы сделать предмет более увлекательным и интересным, чтобы обучающиеся дела-

ли это в силу своего собственного желания, тогда и учебный материал будет усваиваться ими легче. Учитель должен помогать ученикам находить забавное, необычное и занимательное даже в серьезных и скучных на первый взгляд темах. Таким образом, учебный процесс в математике не может обойтись без применения занимательных задач.

**Цель исследования** – обозначить методические аспекты использования занимательных задач, которые будут содействовать развитию познавательного интереса и формированию умения решать задачи.

### Материалы и методы исследования

Материалом исследования стала научная, научно-методическая литература, особого внимания заслуживают источники, в которых исследуется проблема использования занимательных задач на уроках математики, а также собственный педагогический опыт. В качестве методов использовались теоретический анализ психолого-педагогической и методической литературы, изучение, систематизация и обобщение материалов, метод статистической обработки данных.

Экспериментальная база исследования – МБОУ «Намская средняя общеобразовательная школа № 1 имени И.С. Гаврильева», в педагогическом эксперименте приняли участие 52 обучающихся шестых классов в течение одного учебного года.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проблеме использования занимательности на уроках, на математических кружках уделяли внимание многие исследователи. В своей работе Э.Н. Балаян [1, с. 4] рассматривал использование занимательных задач в индивидуальной работе со способными обучающимися, Я.И. Перельман определял их главную цель – «возбудить деятельность научного воображения» [2, с. 3]. По мнению Л.П. Мочалова [3, с. 7], все сомнения, поиски и догадки, порожденные при решении головоломок и занимательных задач, делают внутренний мир человека более ярким и богатым. Таким образом, занимательные задачи активизируют все познавательные процессы школьника, вовлекают его в активное взаимодействие с учителем и одноклассниками, помогают сделать первые самостоятельные открытия, проявить изобретательность, индивидуальные и творческие способности.

Обучающиеся шестого класса переживают переходный период от детства к подростковому возрасту, который проявляется в стремлении к равноправию как со сверстниками, так и со взрослыми, в желании уважения, самостоятельности, серьезного и доверительного отношения к своей личности и индивидуальности. Это делает педагогическое сопровождение в этот период особенно важным. Именно там, выполняя более ответственные задачи в рамках учебного процесса, обучающиеся шестого класса могут впервые ощутить себя взрослыми. В противном случае, если учитель не продемонстрирует уважение к независимости и справедливости по отношению к подростку, это может нарушить доверие ребенка.

В шестом классе у школьников расширяется кругозор – они начинают изучать различные исторические эпохи, культуры, мировоззрения. В этом возрасте начинает формироваться способность понимать людей, отличающихся от них самих. Однако этот процесс должен происходить постепенно.

Обобщая исследования психолого-педагогических особенностей обучающихся 11–12 лет [4], для достижения планируемых результатов можно рекомендовать соблюдение ряда важных условий:

- создать атмосферу взаимопонимания, успеха, доброжелательности;
- строить взаимоотношения с обучающимися на основе их индивидуальности и стремления к самостоятельности;
- организовать постепенный переход от коллективных форм деятельности к индивидуальным.

На этом возрастном этапе рекомендуется активно использовать в учебном процессе групповые формы работы. Также стоит уделять внимание развитию у школьников навыков рефлексии, таких как умение адекватно оценивать себя и контролировать собственные действия. Кроме того, крайне важно развивать способность самостоятельно работать с различными источниками информации, критически их анализировать.

Для шестиклассников ведущей все еще остается познавательная деятельность. Однако на этом этапе у детей начинает формироваться новый вид учебной мотивации – мотив самообразования, который проявляется в активном интересе к новым источникам знаний. Учеников привлекает не только возможность получить новые знания, умения и навыки, но и углубленно разобраться в сути изучаемых процессов и явлений. Крайне важным фактором для поддержания познавательного интереса становится осознание личностного смысла обучения. Они начинают задаваться вопросами: зачем учиться, где пригодятся эти знания в жизни, почему важно их изучать. Если школьник не найдет для себя убедительных ответов, то у него может сформироваться негативное отношение к учебе, появиться внутренняя установка против образовательного процесса, с чем придется столкнуться родителям и учителям.

Переход к новым формам организации учебного процесса предъявляет новые требования к восприятию учеников шестого класса. Сначала их предпочтение того или иного предмета формируется по внешним признакам, но постепенно школьники становятся способны более детально рассматривать каждый предмет изнутри, выделяя все его характеристики и особенно

сти. Стоит отметить, что в шестом классе начинает формироваться целенаправленное произвольное восприятие, когда ученики воспринимают не только интересующие их предметы и явления, но и те элементы, которые необходимы для выполнения поставленной учебной задачи.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что использование занимательности является эффективным инструментом для развития обучающихся. В повседневной жизни мы часто сталкиваемся с понятием «занимательность», под которым обычно подразумевается увлекательный, интересный характер чего-либо, способный привлечь и удержать внимание. По мнению исследователей, «занимательность может использоваться как своеобразная разрядка при объяснении большого по объему или трудного материала» или «служить эмоциональной основой для изучения наиболее трудных вопросов изучаемого материала, например для решения задач повышенной сложности» [5].

В литературных источниках можно встретить различные трактовки понятия «занимательная задача», но нет однозначного определения. Б.А. Кордемский отмечал, что занимательные задачи должны содержать «легкий юмор фавулы, неожиданность ситуации в условии задачи и развязке при ее решении, стройность геометрических форм, изящество решения, в котором сочетаются простота и оригинальность методов его получения» [6, с. 5].

Можно заключить, что занимательные задачи обладают рядом характерных особенностей:

1. Путь их решения изначально неизвестен, и для решения характерен процесс поиска и пробных действий, который может привести к догадке или к идее, приводящей к верному пути к решению.

2. Занимательные задачи вызывают интерес и мотивируют к их решению необычностью условий и формулировки.

3. При составлении занимательных задач учитываются закономерности и законы мышления. Это способствует развитию базовых мыслительных операций, таких как анализ, синтез, классификация и др.

Для того чтобы решать занимательные задачи, необходимо выделить существенные и несущественные параметры условия задачи, обобщить свойства и сходные признаки представленных объектов. Таким образом, нужен более продуктивный подход – научить обучающихся таким мыслительным операциям, как анализ и синтез, сравнение, установление аналогий, классификация и обобщение. Важно помнить,

что включение задач этого типа в учебный процесс должно происходить естественным образом, они по своей сути являются обычными учебными заданиями, но в нестандартной или проблемной форме их подачи. Включение занимательных задач в учебный материал шестого класса значительно проще и естественнее, чем в систематические курсы алгебры и геометрии, так как это соответствует принципу преемственности обучения и возрастным особенностям школьников.

Рассмотрим некоторые основные тенденции и специфические моменты в применении элементов занимательности на уроках математики. Одна из главных тенденций – автоматическое внедрение на уроки материалов из различных источников. Однако не все эти материалы подходят для обучения, так как изначально были созданы для других целей. Поэтому важно не просто переносить конкретные материалы, а использовать приемы, формы и идеи занимательности, которые можно адаптировать для образовательных целей. Из-за этого подхода возникает ситуация, когда основной упор делается на привлекательность материала и его зрелищность, в ущерб образовательной ценности и важности материала для обучающего процесса. Часто происходит игнорирование образовательных целей и роли заданий в успешном обучении.

Многие учителя считают, что использование занимательных задач на уроках математики должно прежде всего сделать учебный процесс более разнообразным, развлекательным и предоставить обучающимся возможность отдохнуть от серьезных учебных задач. Но исследования свидетельствуют, что активности, которые, кажется, приносят удовольствие обучающимся и учителю, на самом деле могут оказаться малоэффективными с точки зрения достижения учебных целей. Многие попытки сделать уроки более занимательными часто оказываются неэффективными, так как они отвлекают внимание обучающихся от главных учебных целей и не способствуют более глубокому усвоению учебного материала.

Третья тенденция указывает на то, что учителя не всегда учитывают, насколько органично встраивается занимательный материал в урок, что может привести к слишком сильному отвлечению или однообразной природе использования таких методов, что, в свою очередь, вызывает быстрое утомление учеников. Например, прием, который заключается в том, что учитель обещает обучающимся, что оставшиеся несколько минут урока будут посвящены

занимательной математике. Хотя вначале это может вызвать повышенный интерес к материалу, со временем эффект исчезает и интерес к математике угасает. Короткие занимательные моменты уже не способны поддерживать мотивацию к изучению «скучной» математики.

Четвертая тенденция заключается в том, что редко учителя сами разрабатывают материалы, призванные сделать уроки интересными, хотя иначе возможно было бы более глубокое понимание того, как это сделать эффективно и как использовать созданные материалы на занятиях и в внеклассной работе.

Описанные тенденции привели к негативным последствиям в использовании занимательности на уроках математики. Более эффективным подходом является органичное включение занимательных элементов в структуру урока. Важно, чтобы занимательный материал не только развлекал, но и обучал, развивал и стимулировал познание. Необходимо смешивать элементы развлечения с учебным материалом, стирая жесткие границы между ними и не противопоставляя одно другому [7, с. 12].

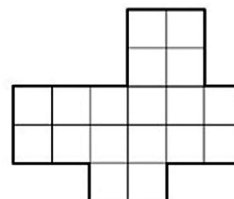
Изучение математики, как серьезного и фундаментального предмета, не должно ограничиваться только играми и забавными заданиями. Сложность и объем материала, а также строгость этой науки требуют серьезного подхода к обучению. Однако слишком сухое и скучное изложение материала также неэффективно и может уменьшить интерес обучающихся к предмету, особенно в старших классах. Поэтому включение занимательных элементов, таких как исторические экскурсы, творческие задания, необычные задачи и игры, может быть разумным решением.

С точки зрения авторов, наибольшее разнообразие занимательных задач возможно использовать на уроках закрепления и повторения учебного материала. Данные задания помогут выявить возможные пробелы и затруднения обучающихся в изучении материала конкретной темы.

Разные виды занимательных задач эффективно могут быть использованы на разных этапах урока. Например, на этапе мотивации, с точки зрения авторов, целесообразно использовать занимательные задачи таких видов, как задачи с алгебраическим способом решения, задачи на разрезание:

1. Пиццу с зеленым соусом разделили на 9 равных частей (кусочков). Папа и Паша съели по два кусочка, а мама и Даша – по одному. Какую часть пиццы съело все семейство?

2. Разрежьте данную фигуру по границам клеток на три равные части. И закрасьте 1/3 часть.



На этапе актуализации знаний должны быть использованы такие задания, которые помогут обучающимся вспомнить ранее изученный материал, необходимый для изучения новой темы. Занимательные задачи помогут сделать этот процесс разнообразным и интересным. Например, задачи со спичками могут служить универсальным вариантом использования для всех множеств чисел. Такие задачи помогут актуализировать знания по арифметическим действиям.

Вот вам новое неверное равенство:



Теперь переложите одну спичку – равенство станет верным. Задача имеет не только одно решение.

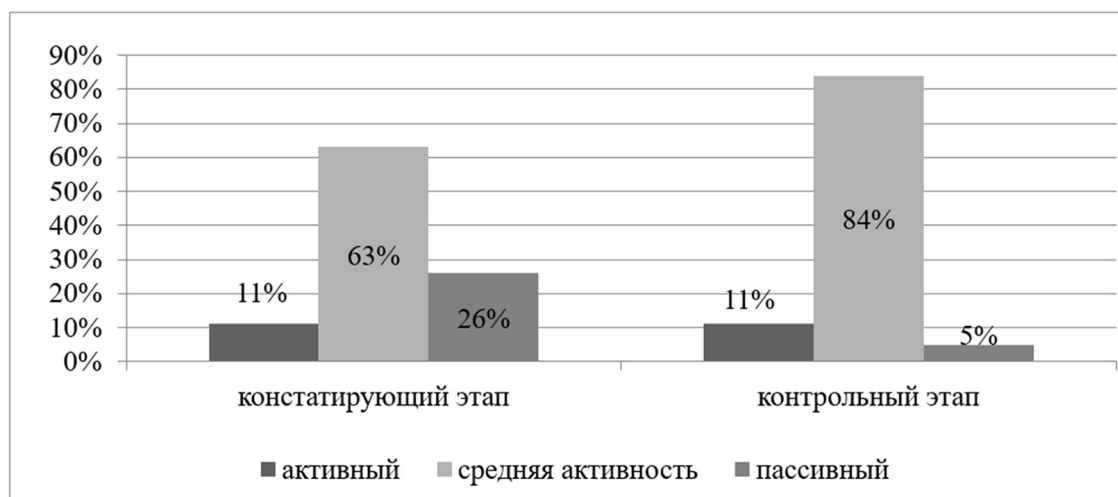
Когда обучающиеся закрепили свои знания, умения и навыки на практике, однотипные задания могут быстро вызывать скуку и быть неинтересны многим обучающимся. Именно в этом случае на этапе включения в систему знаний и повторения можно использовать занимательные задачи, чтобы разнообразить учебный процесс. Приведем некоторые примеры:

1. Ваня задумал некоторое число, умножил на сумму его цифр и получил число 2020. Найдите задуманное число.

2. Фрезерный станок обрабатывает одну деталь за 12 минут. Сколько деталей обработает данный станок за 8 часов безостановочной работы?

3. На заводе несколько мастеров изготавливают на заказ 675 деталей за целое число дней, причем каждый делает 15 деталей в день. Сколько дополнительно мастеров потребуется для того, чтобы выполнить заказ на 10 дней раньше?

Использование разнообразных занимательных элементов различной формы и длительности позволяет организовать каждый урок таким образом, чтобы сохранить серьезный и глубокий подход к изучению математики и в то же время создать в классе положительную и поддерживающую эмоциональную обстановку, стимулируя мотивацию учеников к дальнейшему изучению предмета.



Результаты входного и выходного наблюдения за познавательным интересом

### Сформированность умений до и после эксперимента

	Умеет проводить анализ условия задачи	Умеет применять изученную теорию (определение, правило, теорему) на практике	Умеет выделять основную идею в решении	Установление связей между величинами, между данными и искомыми	Умеет проводить само-контроль
До эксперимента (%)	61,9	52,4	47,6	57,1	71,4
После эксперимента (%)	85,7	71,4	52,4	61,9	85,7

Для выявления влияния систематического включения занимательных задач на уроках математики в шестом классе проведен эксперимент в соответствии с существующими учебными планами. В начале и в конце эксперимента проведено исследование в двух направлениях: наблюдение за проявлениями познавательного интереса и умением решать задачи. Сравнивая сводные данные входного и выходного наблюдений (рисунок), отмечено, что эксперимент позволил увидеть преимущество обучения с использованием занимательных задач. А у кого результаты не видны, изменилось отношение к предмету. Количество пассивных обучающихся на уроке уменьшилось.

Результаты измерения умений при решении задач до и после эксперимента (таблица) показывают положительную динамику.

Для определения достоверности изменения уровня сформированности умений при решении задач обучающихся в экспериментальной группе воспользовались t-критерием Стьюдента для зависимых выборок [8]. Критическое значение t-критерия при числе степеней свободы равном 8 и уровне значимости 0,05 составляет

2,78. В данном экспериментальном исследовании эмпирическое значение t-критерия Стьюдента равно 3,5. Согласно правилу принятия решений полученный результат дает основание сделать вывод о наличии статистически значимых различий уровней сформированности умений до и после эксперимента, иначе говоря систематическое использование занимательных задач способствует лучшему усвоению учебного материала.

### Заключение

Практика показывает, что умелое использование таких методов на уроках математики способствует повышению интереса обучающихся к предмету, снижению утомляемости, улучшает атмосферу в классе и развивает творческие способности учеников. Элементы занимательности не только делают уроки более интересными, но и способствуют более эффективному обучению и позитивному взаимодействию в классе.

Для того чтобы элементы занимательности на уроках математики действительно выполняли свою функцию повышения интереса и вовлеченности обучающихся, очень важно разнообразить формы и объем

их использования. Нежелательно эксплуатировать один и тот же прием или подход слишком часто, так как это может привести к противоположному эффекту – привыканию, падению новизны и, как следствие, снижению заинтересованности.

#### Список литературы

1. Балаян Э.Н. 1000 лучших олимпиадных и занимательных задач по математике. Ростов н/Д: Феникс, 2018. 365 с.
2. Перельман Я.И. Занимательные задачи и опыты. М.: Бомбора, 2018. 320 с.
3. Мочалов Л.П. Головоломки и занимательные задачи. М.: Физматлит, 2020. 192 с.
4. Толбатова Е.В. Психолого-педагогические особенности организации учебной деятельности школьников подросткового возраста // Научный результат. Педагогика и психология образования. 2015. № 1 (3). URL: <https://trpedagogy.ru/journal/article/760/> (дата обращения: 17.07.2024).
5. Тутынина О.И., Беспалько А.А., Мазниченко В.В. О выборе задач для практикума по теории вероятностей и математической статистике // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 2. С. 185–189. DOI: 10.17513/snt.39543.
6. Кордемский Б.А. Занимательные задачи. М.: АСТ: Мир и Образование, 2017. 256 с.
7. Чуричков А. Головоломки и занимательные задачи в тренинге. Копилка для тренера – 2. СПб.: Речь, 2006. 208 с.
8. Кондрашова Е.В. Применение методов математической статистики при проведении педагогического эксперимента // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 2. С. 162–169. DOI: 10.17513/snt.38512.

УДК 378.146:614.8:001.895  
DOI

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРЕПОДАВАНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ» В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ

Бедрина Е.А., Белоусова Ю.С., Янчий С.В.

*ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Омск,  
e-mail: belousov13@mail.ru*

Цель исследования – теоретическое обоснование применения инновационных подходов к преподаванию дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» в технических вузах. Методология исследования базируется на изучении педагогических принципов и методов, адаптированных к специфике современного инженерного образования. Отмечены проблемы, возникающие в процессе реформирования курса. Высказаны предположения, что пересмотр стандартов образовательных программ будет способствовать обеспечению баланса между теорией и практикой и приведет к повышению глубины освоения материала. Рассматриваются ключевые аспекты практического освоения дисциплины, включая использование мультимедийных технологий, симуляторов и деловых игр. Особое внимание уделяется структуре и методике проведения деловых игр, моделирующих реальные чрезвычайные ситуации на производстве. Анализируются преимущества данного метода для формирования у студентов навыков самостоятельного принятия решений в кризисных и опасных ситуациях и развития критического мышления. Результаты исследования показывают, что внедрение инновационных методов преподавания значительно повышает эффективность подготовки будущих инженеров в области безопасности жизнедеятельности. В заключение подчеркивается важность комплексного подхода к обучению, сочетающего глубокие теоретические знания с практическими навыками для формирования у студентов целостной культуры безопасности.

**Ключевые слова:** инновационные методы обучения, безопасность жизнедеятельности, технические вузы, междисциплинарный подход, интерактивные технологии, педагогические принципы, практическая подготовка, моделирование чрезвычайных ситуаций

## INNOVATIVE APPROACHES TO TEACHING THE DISCIPLINE “LIFE SAFETY” IN TECHNICAL UNIVERSITIES

Bedrina E.A., Belousova Yu.S., Yanchiy S.V.

*Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: belousov13@mail.ru*

The aim of the study is to be a theoretical justification for the application of innovative approaches to teaching the discipline “Life safety” in technical universities. The methodology of the study is based on the study of pedagogical principles and methods adapted to the specifics of modern engineering education. The problems encountered in the course of reform were noted. It is suggested that the revision of educational program standards will help to balance theory and practice and lead to greater depth of learning. The key aspects of practical development of the discipline, including the use of multimedia technologies, simulators and business games are considered. Special attention is paid to the structure and methodology of business games, simulating real-life emergencies in the workplace. The advantages of this method for students’ self-decision making skills in crisis and dangerous situations and development of critical thinking are analyzed. The results of the study show that the introduction of innovative teaching methods significantly increases the efficiency of training future engineers in the field of life safety. The conclusion emphasizes the importance of a comprehensive approach to learning, combining deep theoretical knowledge with practical skills to build a holistic security culture in students.

**Keywords:** innovative teaching methods, life safety, technical universities, interdisciplinary approach, interactive technologies, pedagogical principles, practical training, modeling of emergency situations

### Введение

В условиях стремительно развивающейся техносферы обеспечение безопасности жизнедеятельности становится одной из ключевых задач системы высшего образования. Глубокое теоретическое понимание вопросов безопасности позволяет будущим техническим специалистам не только эффективно интегрироваться в социальную систему, но и реализовать свой профессиональный потенциал в соответствии с интересами общества и принципами устойчивого развития. Современные технические вузы внедряют междисциплинарные под-

ходы, объединяющие знания из областей техносферной безопасности, социологии, биологии и культуры, что способствует формированию целостной культуры безопасности у студентов. Особое внимание уделяется практической составляющей обучения, включая моделирование реальных чрезвычайных ситуаций и использование современных симуляторов, что позволяет студентам применять теоретические знания на практике и развивать критическое мышление. Таким образом, дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) становится фундаментальным элементом подготовки инженеров, способных эффек-



тивно реагировать на вызовы современного технологического мира и способствовать безопасному развитию общества [1].

**Цель исследования** – теоретическое обоснование применения инновационных подходов к преподаванию дисциплины БЖД в технических вузах.

#### **Материалы и методы исследования**

В контексте современного высшего технического образования дисциплина БЖД занимает особое место в учебных программах. Данная научная область, будучи сравнительно молодой, за последние десятилетия прошла значительный путь развития и становления. БЖД была введена в учебные планы технических вузов в начале 1990-х гг., что ознаменовало новый этап в подготовке инженерных кадров, ориентированный на формирование комплексного подхода к обеспечению безопасности в различных сферах человеческой деятельности [2].

Интеграция БЖД в систему высшего технического образования характеризовалась определенной спецификой. Студенты технических специальностей, приступая к изучению данной дисциплины, уже обладали базовыми знаниями из смежных областей, таких как физика, химия, экология, полученными как в средней школе, так и на начальных курсах вуза. Это обстоятельство создавало благоприятные предпосылки для более глубокого и системного освоения принципов безопасности жизнедеятельности в контексте их будущей профессиональной деятельности. Междисциплинарный характер БЖД позволил органично интегрировать ее в образовательный процесс технических вузов, обеспечивая синергию с профильными техническими дисциплинами [2].

В настоящее время БЖД в технических вузах представляет собой фундаментальную научно-образовательную дисциплину с четко определенной методологией, целями, установками и содержательным наполнением. Ее изучение направлено на формирование у будущих инженеров и технических специалистов высокого уровня культуры безопасности, что является критически важным аспектом в контексте современных технологических вызовов и рисков. Независимо от конкретной технической специализации, БЖД выступает в качестве универсального компонента профессиональной подготовки, обеспечивающего комплексное понимание вопросов безопасности в различных аспектах инженерной деятельности. Таким образом, данная дисциплина играет ключевую роль в реализации одной из приоритетных задач современного общества – формировании поколения техниче-

ских специалистов, способных эффективно решать вопросы безопасности в условиях динамично развивающейся техносферы [1].

Процесс стандартизации образовательных программ, направленный на унификацию и повышение качества подготовки специалистов, оказал существенное влияние на структуру и содержание данного курса. Однако, наряду с позитивными аспектами этих изменений, наблюдаются и определенные проблемные тенденции, требующие тщательного анализа и корректировки.

Одним из ключевых вызовов, с которыми столкнулись технические вузы в процессе реформирования курса БЖД, стало существенное сокращение аудиторных часов, отведенных на изучение дисциплины. Данная оптимизация, направленная на повышение эффективности образовательного процесса, привела к значительному уплотнению учебного материала. В результате возникла проблема поверхностного освоения отдельных тем и разделов, что может негативно сказаться на качестве подготовки будущих инженеров в области безопасности. Особую озабоченность вызывает тот факт, что для полноценного усвоения многоаспектного материала, включающего табличные данные, графические иллюстрации, текстовую и мультимедийную информацию, студентам технических специальностей требуется больше времени, чем предусмотрено актуальными образовательными стандартами.

Смещение акцента на самостоятельное изучение значительной части материала курса БЖД также вызывает определенные опасения в академическом сообществе технических вузов. Несмотря на то, что развитие навыков самообразования является важным аспектом современного высшего образования, специфика дисциплины БЖД предполагает необходимость интенсивного взаимодействия между преподавателем и студентами, особенно в контексте практической подготовки. Сокращение объема лекционных занятий, обусловленное стремлением усилить практическую составляющую курса, может привести к ослаблению теоретической базы, которая является фундаментом для формирования целостного представления о принципах безопасности в различных сферах профессиональной деятельности инженера. Важно подчеркнуть, что именно глубокое теоретическое понимание вопросов безопасности позволяет будущим техническим специалистам эффективно интегрироваться в социальную систему, реализуя свой профессиональный потенциал в соответствии с интересами общества и принципами устойчивого развития [3].

Дисциплина БЖД представляет собой уникальный синтез теоретических знаний и практических навыков, охватывающий широкий спектр вопросов из области техносферной безопасности, социологии, ноосферы, биологии и культуры. Данный междисциплинарный подход направлен на формирование у будущих технических специалистов комплексного понимания принципов безопасного поведения как в повседневной жизни, так и в экстремальных ситуациях. Особую значимость в структуре курса приобретает практическая составляющая, позволяющая студентам технических вузов трансформировать теоретические знания в конкретные алгоритмы действий, применимые в различных условиях профессиональной деятельности.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Методология преподавания БЖД в технических вузах базируется на ряде фундаментальных педагогических принципов, адаптированных к специфике инженерного образования. Принцип наглядности, реализуемый через мультимодальное воздействие на сенсорные системы обучающихся, играет ключевую роль в формировании у будущих специалистов способности к критическому анализу и оперативной корректировке своих действий в потенциально опасных ситуациях. Принцип доступности и индивидуальности обеспечивает персонализированный подход к обучению, учитывающий психофизиологические особенности каждого студента, что особенно важно при освоении практических навыков в области безопасности. Принцип систематичности, реализуемый через непрерывность и последовательность практических занятий, способствует формированию устойчивых навыков безопасного поведения, что критически важно для будущих технических специалистов [4].

Принцип прогрессирования, основанный на диалектическом подходе к обучению, предполагает постепенное усложнение заданий и увеличение нагрузки, что обеспечивает эффективное освоение и закрепление необходимых компетенций в области безопасности жизнедеятельности. Особое значение в системе инженерного образования приобретает принцип сознательности и активности, направленный на формирование у студентов внутренней мотивации к непрерывному совершенствованию своих знаний и навыков в этом направлении. Этот принцип особенно актуален в свете быстро меняющихся технологических реалий, требующих от будущих специалистов постоянной готовности к освоению новых аспектов

безопасности в профессиональной деятельности. Таким образом, комплексное применение данных принципов в преподавании БЖД в технических вузах способствует формированию у обучающихся целостной культуры безопасности, интегрированной в их профессиональное мировоззрение [2].

Практическое освоение дисциплины БЖД в процессе обучения приобретает особую значимость. Опыт ведущих технических вузов демонстрирует, что наиболее эффективным подходом к реализации основополагающих принципов преподавания БЖД является существенное расширение практической составляющей курса. Инновационные методики, применяемые в технических университетах, базируются на междисциплинарном подходе, который позволяет интегрировать знания из различных областей науки и техники в среду безопасности жизнедеятельности.

Ключевым элементом практической подготовки студентов технических специальностей в области БЖД становится моделирование реальных ситуаций, приближенных к потенциальным сценариям чрезвычайных происшествий, аварий и инцидентов. Такой подход позволяет будущим инженерам не только теоретически осмыслить, но и практически отработать алгоритмы действий в критических ситуациях, характерных для их будущей профессиональной деятельности. Особое внимание уделяется изучению вопросов пожарной безопасности, как одного из ключевых аспектов обеспечения безопасности на промышленных объектах.

Практические занятия в технических вузах часто проводятся с использованием электрифицированных макетов и симуляторов, позволяющих студентам изучить особенности обеспечения пожарной безопасности в различных типах зданий и сооружений, включая высотные конструкции, промышленные объекты и жилые комплексы. Особую ценность представляет возможность непосредственного взаимодействия с современными средствами индивидуальной защиты, пожаротушения и спасательным оборудованием. Студенты технических специальностей получают практический опыт использования огнетушителей, примерки защитных костюмов и работы с различными типами охранно-пожарной сигнализации. Такой интерактивный подход к обучению не только способствует более глубокому усвоению теоретического материала, но и формирует у будущих инженеров практические навыки обеспечения безопасности и реагирования на чрезвычайные ситуации, что критически важно для их будущей профессиональной деятельности в технической сфере [5].

Одной из фундаментальных задач курса является развитие у студентов способности оказывать первую помощь пострадавшим. Для достижения этой цели в технических университетах широко применяются интерактивные методы обучения, в частности специализированные тренинги по оказанию первой помощи. В рамках этих занятий студенты инженерных специальностей разделяются на малые группы, что позволяет моделировать различные сценарии чрезвычайных ситуаций, характерных для технических объектов и производственных процессов. Такой подход способствует развитию навыков командной работы и принятия решений в условиях ограниченного времени и ресурсов, что критически важно для будущих инженеров [6].

Для усиления практической ориентированности образовательного процесса в технических вузах активно внедряются методы имитационного моделирования, в частности деловые игры. Этот инновационный подход позволяет воссоздать сложные многофакторные ситуации, характерные для различных отраслей промышленности и технологических процессов. В ходе таких игр студенты технических специальностей принимают на себя различные роли, включая роли сотрудников производственных объектов, спасателей, медицинского персонала и других специалистов, вовлеченных в ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций. Сценарии игр разрабатываются с учетом специфики конкретных инженерных направлений и могут включать моделирование аварий на промышленных предприятиях, техногенных катастроф, а также природных бедствий, влияющих на функционирование технических систем [6].

Особенность применения деловых игр в рамках курса БЖД в технических вузах заключается в том, что они позволяют интегрировать теоретические знания из различных областей инженерии с практическими навыками обеспечения безопасности. Студенты получают возможность применить свои технические знания в контексте управления рисками и кризисными ситуациями, что способствует формированию комплексного подхода к решению проблем безопасности в их будущей профессиональной деятельности. Важным аспектом таких игр является относительная свобода действий участников в рамках заданных сценариев, что стимулирует развитие креативного мышления и способность к принятию нестандартных решений в критических ситуациях. При этом ключевым требованием остается соответствие действий участников теоретическим основам БЖД и нормативно-правовым актам в области промышлен-

ной безопасности, что обеспечивает формирование у будущих инженеров целостного понимания системы обеспечения безопасности на производственных объектах [7].

Одним из наиболее эффективных подходов является использование деловых (ролевых) игр, которые позволяют моделировать сложные технологические процессы и чрезвычайные ситуации, характерные для инженерной деятельности. Методология проведения таких игр в технических университетах может быть представлена в виде структурированного алгоритма, адаптированного к специфике инженерного образования [8].

Процесс организации деловой игры в контексте БЖД для студентов технических специальностей начинается с тщательного отбора участников, учитывая их специализацию и уровень подготовки. Как правило, формируются группы из 5–7 студентов, каждому из которых назначается определенная роль, отражающая реальные должности и профессии, задействованные в обеспечении безопасности на производственных объектах, релевантных для конкретного сценария. На этом этапе происходит детальное обсуждение профессиональных обязанностей, правовых аспектов деятельности и этических норм, характерных для каждой роли в контексте промышленной безопасности [2].

Следующим этапом является разработка сценария, моделирующего потенциальную чрезвычайную ситуацию на технологическом объекте. Это может быть авария на производстве, техногенная катастрофа или иной инцидент, характерный для конкретной отрасли промышленности. Участники размещаются в соответствии с логикой развития событий, что позволяет наглядно продемонстрировать причинно-следственные связи и взаимодействие различных служб в условиях кризиса. Особое внимание уделяется точному воспроизведению алгоритмов действий каждого специалиста, соблюдению норм промышленной безопасности и правовых аспектов деятельности в чрезвычайных ситуациях.

После завершения активной фазы игры проводится всесторонний анализ действий участников. В ходе этого этапа студенты технических специальностей обсуждают эффективность принятых решений, рассматривают альтернативные стратегии реагирования на чрезвычайную ситуацию и оценивают их потенциальные последствия. Особое внимание уделяется анализу технических аспектов происшествия, включая оценку работоспособности инженерных систем безопасности, эффективности применения защитного оборудования и корректности выполнения технологических операций в кризисных условиях [8].

Структура и этапы проведения деловой игры  
по отработке действий в чрезвычайной ситуации

Этап деловой игры	Описание	Цель
1. Подготовка	Отбор участников, распределение ролей, обсуждение обязанностей	Формирование команд, понимание ролей
2. Разработка сценария	Моделирование чрезвычайной ситуации на техническом объекте	Создание реалистичной ситуации для анализа
3. Проведение игры	Размещение участников, выполнение ролей, реагирование на события	Отработка практических навыков
4. Анализ действий	Обсуждение принятых решений, рассмотрение альтернатив	Развитие критического мышления
5. Подведение итогов	Оценка соответствия действий нормам и стандартам безопасности	Закрепление теоретических знаний

Завершает деловую игру этап подведения итогов. На нем проводится всесторонняя оценка действий участников – насколько они соответствовали теории безопасности жизнедеятельности, требованиям промышленной безопасности и инженерным нормам. Этот этап особенно важен, так как помогает будущим инженерам сформировать целостное понимание вопросов безопасности в их профессии и научиться критически оценивать технические и организационные решения по обеспечению безопасности на производстве.

Основные этапы проведения деловой игры представлены в таблице.

### Заключение

Современные методы преподавания БЖД, включая интерактивные технологии и практические тренинги, значительно повысили уровень подготовки будущих инженеров. Студенты получили возможность отрабатывать свои навыки в условиях, максимально приближенных к реальным.

Важным достижением стала реализация комплексного подхода, объединяющего теорию и практику. Это позволило сформировать у студентов системное понимание вопросов безопасности и развить навыки анализа рисков.

Междисциплинарный характер курса БЖД помогает будущим инженерам освоить принципы принятия взвешенных решений в кризисных ситуациях с учетом технических, социальных и экологических факторов.

Новые подходы к преподаванию БЖД создают надежную основу для подготовки инженеров, отвечающих современным требованиям промышленной безопасности и способных обеспечить устойчивое развитие производства.

Проведенное исследование подтверждает фундаментальную роль дисциплины

«Безопасность жизнедеятельности» в формировании современных инженерных кадров. Сочетание традиционных и инновационных методов обучения существенно повышает качество подготовки студентов, позволяя им эффективно применять полученные знания на практике. Выпускники, обладающие глубокой теоретической базой и практическими навыками, способны грамотно действовать в кризисных ситуациях и успешно решать профессиональные задачи с учетом требований безопасности.

### Список литературы

1. Романченко Л.Н., Косенок Ю.Н., Годлевский П.П. Структурирование курса БЖД в высших учебных заведениях как элемента национальной безопасности // Управление образованием: теория и практика. 2022. № 1 (47). С. 169–172.
2. Кузнецова В.П. Анализ методик дистанционного обучения по курсу «Безопасность жизнедеятельности» // Мир науки. Педагогика и психология. 2022. Т. 10, № 6. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/48PDMN622.pdf> (дата обращения: 15.08.2024).
3. Задорожникова Е.Б., Панкратова Е.В. Образовательное пространство вуза как фактор формирования карьерных ориентаций студентов (на примере ИВГУ) // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2022. № 3. С. 18–26.
4. Григорьев В.Н. Проблемные вопросы подготовки обучающихся в высших учебных заведениях России в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. 2022. № 4 (74). С. 74–81.
5. Панишев А.Л., Горина Л.Н. Методы и технологии формирования практических компетенций в области промышленной безопасности // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10, № 2. С. 299–303. DOI: 10.17816/snv2021102313.
6. Кучумова Г.В. Причины чрезвычайных ситуаций и возможности образовательной деятельности в их преодолении // Вестник педагогических наук. 2023. № 7. С. 175–180.
7. Кириллов Н.П., Молчанов С.В. Научно-правовой подход в обосновании «Безопасности жизнедеятельности» как науки и учебной дисциплины // Человек и Образование. 2020. № 3 (64). С. 33–38.
8. Чумаков М.В., Елизарова А.А., Берендеева А.Б. Интерактивные методы в обучении будущих государственных и муниципальных служащих // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2022. № 1. С. 35–45.

УДК 376.2/.3  
DOI

## ВЛИЯНИЕ ЛОГОПЕДИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ЛИЦ С ПРОГРЕССИРУЮЩЕЙ МОЗЖЕЧКОВОЙ ДИЗАРТРИЕЙ

Бердникович Е.С.

*ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, e-mail: berdnickovitch.elena@yandex.ru*

Целью исследования являлось изучение влияния логопедической реабилитации на качество жизни пациентов с прогрессирующей мозжечковой дизартрией. В период с 2021 по 2022 гг. на базе 5-го неврологического отделения с молекулярно-генетической лабораторией Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научный центр неврологии» на стационарном лечении находились 20 пациентов взрослого возраста с мозжечковой дегенерацией, которые были распределены по 10 человек в экспериментальную (интенсивная речевая реабилитация) и контрольную (стандартное оказание логопедической помощи в стационаре) группы. На основании разработанного опросника автором экспериментально выявлены факторы, негативно влияющие на речь и коммуникацию лиц с редкими орфанными заболеваниями – атаксией Фридрейха и спинocerebellарной атаксией. Представлен диагностический блок комплексного психолого-логопедического обследования, базирующийся на включенных в исследование шкалах и доменах Международной классификации функционирования, инвалидности и здоровья Всемирной организации здравоохранения, значимых в реабилитации лиц с приобретенной мозжечковой дизартрией. Применение интенсивной логопедической реабилитации у лиц с редкими орфанными заболеваниями позволяет добиться значимых результатов по сравнению с использованием традиционного логопедического воздействия, что отражено во временной динамике количественных показателей через 4 и 12 недель. Проведенное исследование дает возможность продемонстрировать повышение разборчивости речи, увеличение времени максимальной фонации, снижение выраженности голосовых нарушений, скандированности речи и трудностей глотания, что в целом способствует улучшению коммуникации и достижению оптимального качества жизни лиц с прогрессирующей мозжечковой дизартрией.

**Ключевые слова:** прогрессирующая мозжечковая дизартрия, логопедическая реабилитация, международная классификация функционирования, атаксия, нейродегенеративные заболевания, качество жизни, коммуникация

## EFFECT OF SPEECH THERAPY REHABILITATION ON THE QUALITY OF LIFE OF INDIVIDUALS WITH PROGRESSIVE CEREBELLAR DYSPHAGIA

Berdnikovich E.S.

*Scientific Center of Neurology, Moscow, e-mail: berdnickovitch.elena@yandex.ru*

The aim of the study was to investigate the impact of speech therapy rehabilitation on the quality of life of patients with progressive cerebellar dysarthria. In the period from 2021 to 2022, 20 adult patients with cerebellar degeneration underwent inpatient treatment at the 5th neurological department with a molecular genetic laboratory of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Scientific Center of Neurology", who were divided into 10 people each into experimental (intensive speech rehabilitation) and control (standard speech therapy in the hospital) groups. Based on the developed questionnaire, the author experimentally identified the factors that negatively affect speech and communication of persons with rare orphan diseases – Friedreich's ataxia and spinocerebellar ataxia. The diagnostic block of complex psychological and speech therapy examination based on the scales and domains of the International Classification of Functioning, Disability and Health of the World Health Organization included in the study, significant in the rehabilitation of persons with acquired cerebellar dysarthria, is presented. The use of intensive speech therapy rehabilitation in persons with rare orphan diseases allows to achieve significant results in comparison with the use of traditional speech therapy, which is reflected in the temporal dynamics of quantitative indicators after 4 and 12 weeks. The conducted study allows us to demonstrate an increase in speech intelligibility, an increase in the time of maximum phonation, a decrease in the severity of vocal disorders, speech chanting and swallowing difficulties, which in general contributes to improving communication and achieving an optimal quality of life of persons with progressive cerebellar dysarthria.

**Keywords:** progressive cerebellar dysarthria, speech rehabilitation, ataxia, International Classification of Functioning, neurodegenerative diseases, quality of life, communication

### Введение

Последние десятилетия отмечены как значительным прогрессом в сфере нейронаук, так и расширением логопедического инструментария теоретического и практического значения. На современном этапе оказани-

е коррекционно-педагогической помощи взрослым пациентам предусматривает применение комплексного (медико-психолого-педагогического) подхода к реабилитации.

Необходимость реабилитационной помощи и ее внедрение в Российской Федера-

ции определяются следующим нормативно-правовым обеспечением:

- Приказом Министерства здравоохранения РФ от 31 июля 2020 г. № 788н «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации взрослых» [1];

- Концепцией развития в Российской Федерации системы комплексной реабилитации и абилитации инвалидов, в том числе детей-инвалидов, на период до 2025 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2021 г. № 3711-р) [2];

- Планом мероприятий по реализации Концепции развития в Российской Федерации системы комплексной реабилитации и абилитации инвалидов, в том числе детей-инвалидов, на период до 2025 года (утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 16 августа 2022 г. № 2253-р) [3];

- Приказом Министерства здравоохранения РФ от 2 мая 2023 г. № 206н «Об утверждении Квалификационных требований к медицинским и фармацевтическим работникам с высшим образованием», согласно которому с 1 сентября 2023 года в перечень специалистов с высшим немедицинским образованием включена должность «Медицинский логопед» [4];

- Приказом Минтруда России от 13.03.2023 № 136н «Об утверждении профессионального стандарта “Педагог-дефектолог”» (зарегистрировано в Минюсте России 14.04.2023 № 73027) [5].

Специализированная реабилитация лиц с заболеваниями нервной системы впервые была проведена в НИИ неврологии АМН СССР (в настоящее время ФГБНУ «Научный центр неврологии») в 1964 году. В 1960-х гг. сотрудники неврологического отделения Э.С. Бейн, Л.Г. Столярова, Г.Р. Ткачева сформулировали принципы восстановительного обучения пациентов с нарушениями сосудистой этиологии [6, 7].

Важным аспектом речевой реабилитации служит персонифицированный подход при условии раннего включения логопеда в коррекционно-педагогический процесс [8, 9].

Речь является сложной, динамической функцией, с помощью которой человек выражает свои мысли и эмоции, реагирует на окружающую среду, поэтому вопрос изучения речи при различных нейродегенеративных заболеваниях приобретает все большую актуальность.

Согласно медико-статистическим данным, в мире нейродегенеративной патологией страдают около 30 миллионов человек, при этом к 2030 году их количество уве-

личится вдвое, а к 2050 г. – вчетверо [10]. В настоящее время насчитывается свыше тысячи болезней нервной системы, включающих двигательные расстройства с вовлечением экстрапирамидной и мозжечковой систем [11]. Тенденция к росту распространенности неврологических расстройств, среди которых значительную долю составляют наследственные атаксии, определяет необходимость изучения места и роли психолого-педагогического направления в комплексной реабилитации. Наследственные атаксии представляют собой весьма гетерогенную группу прогрессирующих заболеваний, характеризующихся шаткостью походки, нарушением координации движений глаз, речи и рук, ассоциированными с атрофией мозжечка [12].

Мозжечковая дизартрия (МД) рассматривается в сочетании с атаксией (от греч. *ἀταξία* – «беспорядок, отсутствие дисциплины, неразбериха»). Термин «атаксия» используется в научной литературе еще со времен Гиппократов, был предложен Гийоном Дюшенном в 1858 г. для описания сенсорной дискоординации при поражении задних столбов спинного мозга. Дизартрия была описана при заболеваниях мозжечка с XIX века, при этом нарушение сенсомоторного контроля, являющееся главной особенностью мозжечково-моторного синдрома, было признано ядром мозжечковой дизартрии, характерными симптомами которой являются замедление и неточность артикуляционных движений, нарушения просодики и плавности речи. По мнению Л.С. Выготского, речь невысказима без речевого дыхания (отличающегося по многим характеристикам от физиологического), являющегося базовым даже для внутренней речи с ее малейшими речевыми движениями [13, с. 170]. Лингвисты также подчеркивают, что основой ритмической организации речи (слогоделения) является именно речевое дыхание. Среди «многоаспектных характеристик устного высказывания плавность речи выступает как общий биологический показатель координации темпо-ритмических характеристик речевого выдоха и семантико-синтаксического планирования высказывания» [14].

Классификации дизартрии разработаны с разных позиций, при этом речевые нарушения у взрослых пациентов могут быть соотнесены с локализацией органического поражения мозга [15, с. 37]. В системе реабилитации автор применяет понятие «мозжечковая дизартрия», что соответствует атактической форме дизартрии с позиций синдромологического подхода. МД прогрессирует с течением времени и является

облигатным признаком редких орфанных заболеваний: атаксии Фридрейха (АФ) и спинocerebellарной атаксии (СЦА).

Атаксия Фридрейха – первая нозологически самостоятельная форма наследственных атаксий, выделенная назад из общей группы локомоторной атаксии немецким патоневрологом Николаусом Фридрейхом в 1863 году [16]. Заболевание характеризуется атрофией мозжечка и дегенерацией задних и боковых канатиков спинного мозга, встречается с частотой 1–5 на 100 тысяч населения; симптомы обычно появляются в возрасте от 5 до 20 лет, поражая молодых людей и проявляясь медленно прогрессирующей нестабильностью, дисметрией и дизартрией, что вызывает потерю независимой походки и тяжелую инвалидность [17].

Спинocerebellарная атаксия – группа генетически разнородных наследственных заболеваний неврологического характера, проявляющихся различными расстройствами мозжечка и базальных ядер головного мозга. Первый случай СЦА описал в 1993 г. профессор Гарри Орт, распространенность заболевания составляет в среднем 1 на 100 тыс. населения, при этом в России повышенным регионом накопления лиц с СЦА является Якутия [18]. По мере прогрессирования болезни у пациентов с СЦА проявляются нарушения координации движений, неразборчивая речь с последующим присоединением расстройств глотания и дыхания, что, в свою очередь, приводит к риску аспирационной пневмонии и повышению смертности.

При мозжечковой дизартрии значительно снижается качество жизни (КЖ) из-за социальной изоляции, неполной трудовой занятости и трудностей с выполнением повседневных задач. Перед пациентами с прогрессирующей дизартрией встают проблемы приспособления к речевому дефекту, изменения ролевого статуса в семье и потери профессии, в связи с этим логопедическая реабилитация приобретает особую клинико-педагогическую и социальную значимость.

Всемирная организация здравоохранения рассматривает качество жизни как «восприятие индивидами их положения в жизни в контексте культуры и систем ценностей, в которых они живут в соответствии с их целями, ожиданиями, стандартами и заботами» [19, с. 23]. Оптимальное КЖ неразрывно связано с коммуникативной функцией и экспрессивной речью. Ряд авторов рассматривают коммуникацию с позиции специфического обмена информацией, процесса передачи ее эмоционального и ин-

теллектуального содержания. На практике неврологи нередко недооценивают клиническое значение дизартрических расстройств у пациентов с приобретенной МД, приуменьшая их влияние на качество жизни и не направляя на своевременную консультацию к логопеду. Особую значимость этот фактор приобретает на фоне латентного временного интервала между моментом осознания симптомов и постановкой точного диагноза, описанного в научной литературе как «одиссея» [20], в течение которой пациенты могут не получать надлежащего лечения и консультирования.

Знание степени выраженности коммуникативного нарушения позволяет специалистам назначать и обеспечивать оптимальную речевую реабилитацию. В соответствии с Международной классификацией функционирования, инвалидности и здоровья (МКФ) [21], логопед выявляет и оценивает: 1) нарушения структуры и функций тела; 2) ограничения личности в активности и участии, включая функциональный статус в общении, межличностных взаимодействиях, самообслуживании и обучении; 3) контекстуальные (экологические и личностные) факторы, которые служат препятствиями или факторами, способствующими успешному общению и участию в жизни; 4) влияние нарушений общения на качество жизни и функциональные ограничения, связанные с преморбидными социальными ролями и способностями индивида, а также влияние на их сообщество (рис. 1).

В иностранной литературе представлено значительное количество публикаций по вопросу диагностики и коррекции речи при мозжечковых нарушениях, однако в области отечественной специальной педагогики проблема оказания помощи взрослым пациентам данной нозологии недостаточно разработана, отсутствуют педагогические рекомендации по восстановлению речи, голоса и глотания у лиц с прогрессирующей приобретенной дизартрией. В зарубежной клинической практике рекомендуется проведение логопедической реабилитации, при этом представленных результатов исследований недостаточно для определения эффективности речевого воздействия [22], что побудило автора впервые обратиться к проблеме приобретенных речевых нарушений в области редких заболеваний при дегенерации мозжечка.

**Целью настоящего исследования** являлось изучение влияния логопедической реабилитации на качество жизни пациентов с прогрессирующей мозжечковой дизартрией.

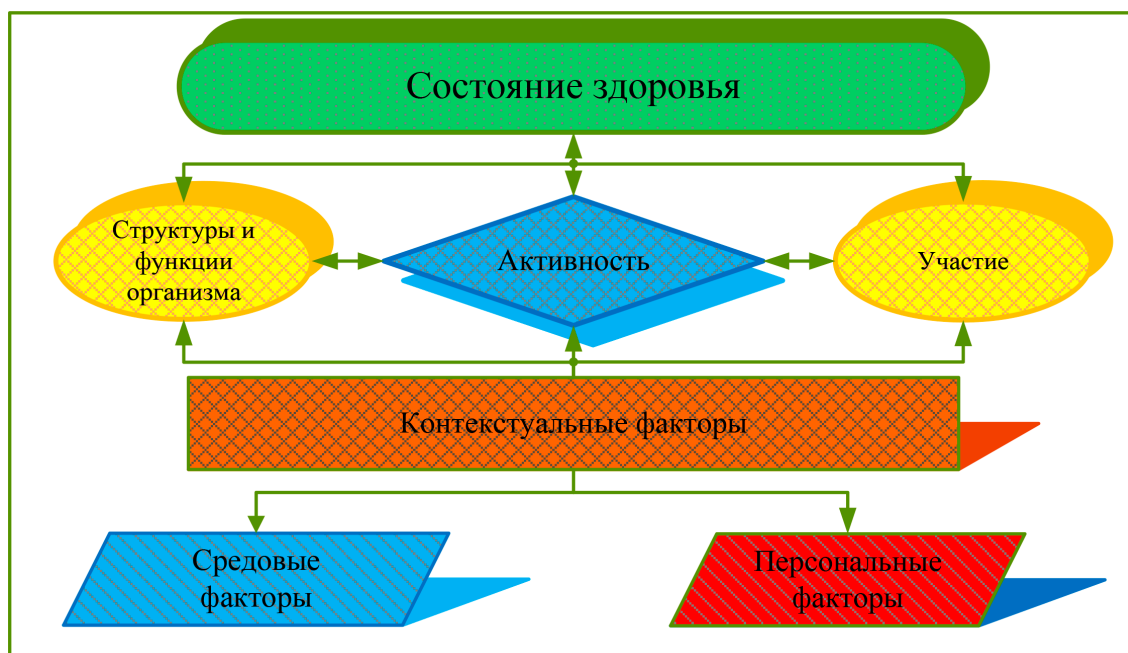


Рис. 1. Взаимосвязь между составляющими МКФ

### Материалы и методы исследования

В период с 2021 по 2022 гг. на базе 5-го неврологического отделения с молекулярно-генетической лабораторией ФГБНУ «Научный центр неврологии» на стационарном лечении находились 20 (100%) пациентов с мозжечковой дегенерацией (средний возраст  $37,5 \pm 15,3$  года), 12 (60%) мужчин и 8 (40%) женщин, которые были распределены по 10 человек в экспериментальную группу (ЭГ) с интенсивной речевой реабилитацией и контрольную группу (КГ) со стандартным оказанием логопедической помощи в стационаре. Малый объем выборки обусловлен тем, что мозжечковая атаксия является редким орфанным заболеванием.

**Критериями включения** в исследование являлись: пациенты обоих полов в возрасте от 18 до 75 лет; дебют заболевания до 50 лет; прогрессирование заболевания в течение более 1 года; наличие жалоб на речь/голос/глотание.

**Критерии исключения** в исследование: выраженные психические расстройства и наличие тяжелой соматической патологии; неспособность следовать инструкциям. От каждого пациента получено добровольное информированное согласие, при этом обследуемые имели право прекратить свое участие на каждом из этапов исследования. В течение всего логопедического воздействия фармакологическая терапия у пациентов не менялась.

По основным показателям (возрасту, полу, форме атаксии, степени выражен-

ности дизартрии) различий не было зафиксировано ( $p \geq 0,05$ ), группы признаны сопоставимыми. В представленном исследовании ранняя (G11.1) и поздняя мозжечковая (G11.2) атаксии по Международной классификации болезней 10-го пересмотра были представлены в равной степени (50%) у лиц обеих групп, атрофия червя мозжечка отмечалась в 95% случаев. У 4 пациентов (20%) общей выборки манифестация заболевания отмечалась в 4 года и 6 лет, что представляется значимым фактором при диагностике и подборе коррекционной программы. Со всеми пациентами осуществляли комплексное медицинское, логопедическое и нейропсихологическое обследование на момент госпитализации и при выписке из стационара, нейровизуализационное исследование на аппарате магнитно-резонансной томографии. Исходные характеристики лиц с прогрессирующей МД экспериментальной группы, в которой средний возраст по выборке составил  $38,7 \pm 14,8$  года, возраст дебюта  $26,6 \pm 16,2$  года, длительность заболевания  $12,1 \pm 9,8$  года, приведены в таблице.

Констатирующий эксперимент состоял из нескольких этапов.

I. Подготовительный этап, включающий анализ статистических данных пациентов, поступающих в 5-е неврологическое отделение нейрогенетики «Научного центра неврологии», с учетом пола, возраста, клинического диагноза, социального статуса.



Клинические характеристики пациентов экспериментальной группы с прогрессирующей мозжечковой дизартрией

Пациент (№)	Возраст (лет)	Пол	Диагноз	Дебют (лет)	Длительность (лет)	Вид МА		Степень выраженности дизартрии	Атрофия червя	Атрофия полушарий мозжечка
						Ранняя МА	Поздняя МА			
П.1	35	М	СЦА	33	2		✓	легкая	✓	
П.2	31	М	СЦА	21	10	✓		умеренная	✓	
П.3	21	М	СЦА	17	4	✓		легкая	✓	✓
П.4	73	М	СЦА	58	15		✓	легкая	✓	
П.5	51	Ж	атаксия Фридрейха	24	27	✓		умеренная	✓	
П.6	24	Ж	атаксия Фридрейха	4	20	✓		умеренная	✓	
П.7	33	Ж	СЦА	6	27	✓		легкая	✓	
П.8	42	М	СЦА	38	4		✓	легкая	✓	✓
П.9	37	Ж	СЦА	27	10		✓	умеренная	✓	✓
П.10	40	Ж	СЦА	38	2		✓	умеренная	✓	✓

Примечание: МА – мозжечковая атаксия; СЦА – спиноцеребеллярная атаксия.

II. Диагностическое обследование лиц с дизартрией (сбор анамнеза; анализ данных визуализации зоны повреждения головного мозга; проведение психолого-педагогического обследования речи; составление логопедического заключения).

III. Выделение доменов МКФ, значимых для логопедической реабилитации взрослых пациентов с мозжечковой дизартрией; составление речевого МКФ-профиля обследуемых с целью определения реабилитационного потенциала и организации персонализированной логопедической работы.

Комплексное психолого-педагогическое обследование пациентов включало: 1) оценку выраженности речевых симптомов по шкале дизартрии (ШД) в баллах [23]; 2) измерение времени максимальной фонации (ВМФ); 3) шкалу оценки пищевого поведения EAT-10 для выявления риска дисфагии [24]; 4) шкалу SARA (блок «Речь») [25]; 5) субъективную оценку пациентом речевой функции по шкале VHI-10 [26]; 6) оценку реабилитационного потенциала по доменам МКФ, значимым в логопедии [27]; 7) оценку качества жизни по шкале WHOQOL-BREF [28]. Результаты проведенного обследования по традиционной схеме не выявили качественной специфики речевых нарушений, в связи с чем автор дополнительно разработал опросный лист для изучения факторов, влияющих на качество речи и коммуникацию лиц с МД.

Анализ психолого-логопедической диагностики позволил разработать персонализированную программу логопедической реабилитации лиц с МД в рамках обучающего эксперимента. Программа интенсивного речевого воздействия в экспериментальной группе (в отличие от стандартного логопедического воздействия в контрольной группе) была рассчитана на 12 недель, все 10 (100%) обследуемых прошли курс речевой реабилитации из 10 занятий в стационаре, 6 (60%) пациентов продолжили заниматься амбулаторно (10 занятий) и 8 (80%) пациентов – дистанционно (10 занятий дважды в неделю). Логопедическая работа строилась на основе доменов, классифицируемых в МКФ, выделенных на основании полученных данных констатирующего эксперимента. Восстановительные занятия проводили ежедневно в утренние часы, длительность индивидуальной процедуры не превышала 35–40 минут в зависимости от возраста пациента, тяжести речевидгательного нарушения и индивидуальных особенностей.

В рамках исследования основными методами логопедической реабилитации являлись: дифференцированный логопедический массаж, пассивная и активная артикуляционная гимнастика, дыхательные (при МД, наиболее ярко представленной наследственными атаксиями, нарушается, прежде всего, дыхательная функция) и голосовые упражнения, применение биологической

обратной связи. Логопедические занятия были направлены на нормализацию тонуса и активизацию сократительной способности мышц артикуляционного аппарата; увеличение времени максимальной фонации; уменьшение гиперсаливации, препятствующей полноценному смыканию губ и удержанию нужных артикуляционных укладов; укрепление глоточного рефлекса; преодоление скандированности речевого высказывания; подготовку условий к формированию произвольных, координированных движений органов артикуляции; подавление патологической рефлекторной активности в речевой мускулатуре; нормализацию просодики.

Условием преодоления выявленного речедвигательного нарушения являлось соблюдение тесного единства логопедической реабилитации с лечебным патогенетическим воздействием, направленным на достижение оптимального качества жизни. Диагностический мониторинг, проводившийся в трех временных точках (на момент госпитализации, через 4 недели, 3 месяца), позволил определить эффективность логопедической программы и стойкость полученных результатов.

Статистический анализ результатов проводили с применением программного пакета SPSS Statistics версии 23.0 (IBM, США). Во всех случаях использовали двусторонние варианты статистических критериев. Нулевая гипотеза отвергалась при уровне значимости  $p < 0,05$  (при апостериорных попарных сравнениях – при скорректированном уровне значимости  $\text{adj } p < 0,05$ ). Для сравнения несвязанных групп по категориальным переменным использовался тест Хи-квадрат Пирсона ( $\chi^2$ ), а при наличии ограничений к его применению – точный критерий Фишера.

#### Результаты исследования и их обсуждение

На момент включения в исследование у всех обследуемых обоего пола наблюдалась дизартрия легкой (6÷19 баллов по ШД) либо умеренной степени выраженности (20÷39 баллов по ШД), что соответствует незначительным (5–24%) либо умеренным (25–49%) нарушениям по МКФ.

На основании использования диагностической программы с позиций МКФ был определен логопедический *реабилитационный потенциал* (РП) лиц с мозжечковой дизартрией согласно четырехуровневой шкале, позволяющий прогностически определить возможности, ресурсы пациента для осуществления коррекционно-педагогической помощи с учетом потенциально

возможной компенсации расстройств речи, дыхания и глотания.

До курса занятий средние значения ВМФ составляли в ЭГ  $10,9 \pm 2,1$  с, после интенсивной речевой терапии –  $15,4 \pm 4,1$  с (по сравнению с КГ:  $12,2 \pm 3,3$  с). С течением времени повышение данного показателя происходило в обеих группах, однако у лиц с интенсивной логопедической реабилитацией улучшение было более заметным во всех временных точках ( $p = 0,001$ ).

По результатам диагностики и коррекции акта глотания по шкале ЕАТ-10 выявлен положительный эффект с более значимым снижением симптомов дисфагии в ЭГ (с 6 до 3 баллов,  $p = 0,013$ ), что проявлялось в снижении эпизодов поперхивания сухой твердой пищей.

Средние значения балльной оценки по шкале «VHI-10», отражающей влияние дизартрии на психологические и социальные аспекты жизни больного, в группе пациентов с МД легкой степени составили  $5,24 \pm 3,65$  балла, у пациентов с МД умеренной степени –  $14,92 \pm 6,88$  балла.

Средние значения блока «Речь» по шкале SARA составили  $3 \pm 1$  балл, что свидетельствовало о значительной роли приобретенного речевого дефицита в снижении КЖ лиц с мозжечковой атаксией. Значительное улучшение в области общения по шкале VHI – 10, блоку «Речь» шкалы SARA отметили 7 (70%) пациентов ЭГ уже спустя 4 недели логопедического воздействия (балл SARA «Речь» был значимо связан со степенью дизартрии на момент начала исследования) ( $p < 0,001$ ). Было установлено, что ряд факторов оказывают негативное влияние на речь и коммуникацию. Пациенты почти «всегда» или «часто» испытывали трудности при общении в шумной обстановке, в состоянии стресса, разговоре с незнакомыми людьми и на фоне эмоциональной лабильности (рис. 2).

По окончании логопедической реабилитации (12 недель) три пациента (30%) смогли устроиться на работу с незначительной речевой нагрузкой, 7 (70%) – чаще общаться по телефону, 4 (40%) – улучшили эмоциональный фон и 7 (70%) – вербальную активность, 8 (80%) обследуемых выразили желание повторить курс логопедических занятий амбулаторно, в связи с чем автор усложнил речевой материал реабилитационной программы для закрепления результатов по принципу накопительного эффекта. По результатам анализа сочетанного влияния времени и логопедической реабилитации балл WHOQOL-BREF (психологическая сфера) был значимо связан с возрастом, степенью дизартрии и наличием интенсивного речевого воздействия ( $p < 0,001$ ).

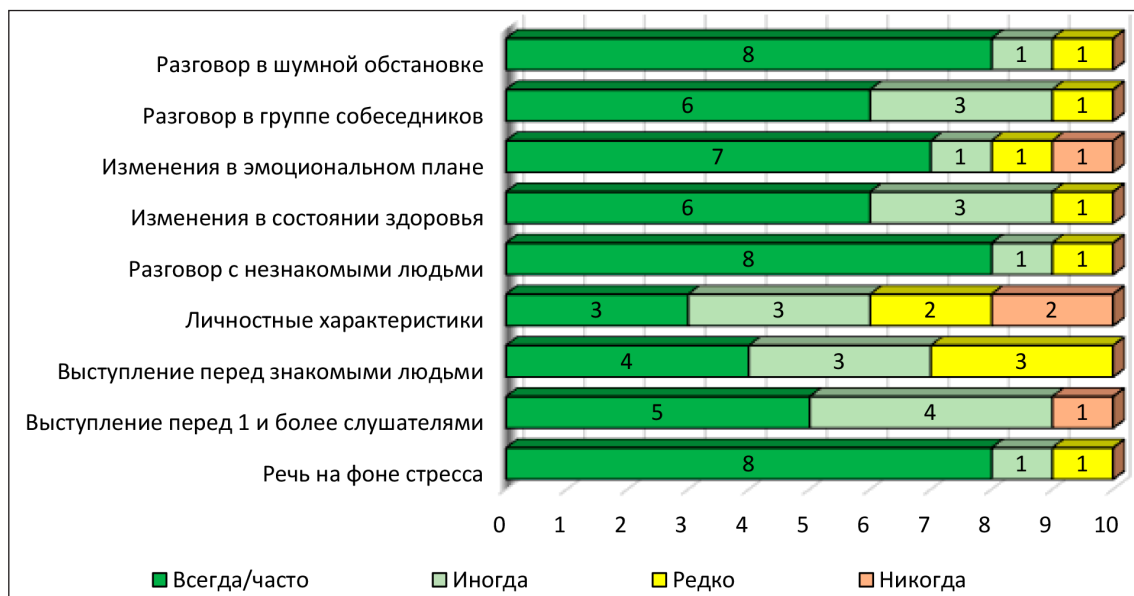


Рис. 2. Факторы, влияющие на качество речи и коммуникацию лиц с мозжечковой дизартрией

С течением времени улучшение психологического профиля происходило в обеих группах, однако у участников ЭГ улучшение спустя 12 недель было более заметным.

### Выводы

1. При разработке программы логопедического воздействия автор исходил из понимания того, что производство речи представляет собой сложный процесс, включающий быстрые и точные изменения в артикуляционном аппарате (нижняя челюсть, губы, зубы, язык и мягкое нёбо), которые синхронизируются с фонационным выдохом и координируются различными областями функции моторного контроля, включая мозжечок.

2. Проведенное исследование показало, что тяжесть дизартрии и коммуникативного дефицита прямо пропорциональна негативному влиянию на качество жизни лиц с прогрессирующей мозжечковой дизартрией.

3. Применение интенсивной речевой реабилитации у лиц с редкими орфанными заболеваниями позволяет добиться более значимых результатов по сравнению с использованием традиционного логопедического воздействия, что отражено во временной динамике количественных показателей через 4 и 12 недель.

Таким образом, доказательством эффективности логопедической программы являлись улучшение разборчивости речи, увеличение времени максимальной фонации, уменьшение индекса голосовых нарушений и трудностей глотания, снижение скандированности речи и, в целом, улучшение ком-

муникации, что позволяет рекомендовать разработанную программу к практическому применению при восстановлении пациентов с редкими орфанными заболеваниями.

### Список литературы

1. Приказ Минздрава России от 31.07.2020 N 788н (ред. от 07.11.2022) «Об утверждении Порядка организации медицинской реабилитации взрослых» (Зарегистрировано в Минюсте России 25.09.2020 N 60039) [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_363102/?ysclid=m3hm1sz2r9443955239](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363102/?ysclid=m3hm1sz2r9443955239) (дата обращения: 05.10.2024).
2. Распоряжение Правительства РФ от 18.12.2021 N 3711-р «Об утверждении Концепции развития в Российской Федерации системы комплексной реабилитации и абилитации инвалидов, в том числе детей-инвалидов, на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_405017/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_405017/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/) (дата обращения: 10.10.2024).
3. Распоряжение Правительства РФ от 16.08.2022 N 2253-р «О Плане мероприятий по реализации Концепции развития в РФ системы комплексной реабилитации и абилитации инвалидов, в том числе детей-инвалидов, на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_424848/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_424848/) (дата обращения: 10.10.2024).
4. Приказ Минздрава России от 02.05.2023 N 206н (ред. от 19.02.2024) «Об утверждении Квалификационных требований к медицинским и фармацевтическим работникам с высшим образованием» (Зарегистрировано в Минюсте России 01.06.2023 N 73677) [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_448626/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_448626/) (дата обращения: 09.10.2024).
5. Приказ Минтруда России от 13.03.2023 N 136н «Об утверждении профессионального стандарта «Педагог-дефектолог» (Зарегистрировано в Минюсте России 14.04.2023 N 73027) [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_444952/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_444952/) (дата обращения: 09.10.2024).
6. Бейн Э. С. Афазия и пути ее преодоления. Ленинград: Медицина, 1964. 235 с.

7. Столярова Л.Г., Ткачева Г.Р. Реабилитация больных с постинсультными двигательными расстройствами. М.: Медицина, 1978. 216 с.
8. Бердникович Е.С., Орлова О.С., Уклонская Д.В. Персонализированный подход в речевой реабилитации: фокус на пациенте // Специальное образование. 2022. № 1 (65). С. 20-35.
9. Уклонская Д.В. Современные подходы к восстановлению речи при приобретенных расстройствах внешнего оформления высказывания у взрослых: курс на преработку // Дефектология. 2022. № 5. С. 70-79.
10. Gulland A. Number of people with dementia will reach 65.7 million by 2030, says report // Br. Med. J. 2012. Vol. 344. P. e2604. DOI: 10.1136/bmj.e2604.
11. Feigin V.L., Vos T., Nichols E., Owolabi M.O., Carroll W.M., Dichgans M. et al. The global burden of neurological disorders: translating evidence into policy // Lancet Neurol. 2020. № 19(3). P. 255-265. DOI: 10.1016/S1474-4422(19)30411-9.
12. Клошников С.А., Нужный Е.П., Абрамчыча Н.Ю., Протопопова А.О., Селиверстов Ю.А., Федотова Е.Ю., Иллариошкин С.Н. Клинико-генетический анализ наследственных атаксий: новые формы заболеваний в российских семьях // Бюллетень Национального общества по изучению болезни Паркинсона и расстройств движений. 2022. № 2. С. 91-97. DOI: 10.24412/2226-079X-2022-12443.
13. Выготский Л.С. О влиянии речевого ритма на дыхание // Проблемы современной психологии: сборник статей сотрудников Московского государственного института экспериментальной психологии / ред. К.Н. Корнилова. Ленинград: Государственное издательство, 1926. 252 с.
14. Филатова Ю.О., Аксенова А.О. Отечественные и зарубежные подходы к изучению плавности речи и ее нарушений у детей дошкольного возраста // Современное дошкольное образование. 2021. № 5(107). С. 62-69.
15. Винарская Е.Н. Дизартрия: речевые расстройства при очаговых поражениях мозга, анатомия и физиология речи: закономерности развития и фонетические нормы, сравнительная характеристика и диагностика клинических форм, практическая методика коррекционно-педагогической работы. Изд. 2-е. М.: URSS, 2020. 200 с.
16. Burk K. Friedreich ataxia: current status and future prospects // Cerebellum & Ataxias. 2017. Vol. 4. P. 4. DOI: 10.1186/s40673-017-0062-x.
17. Cook A., Giunti P. Friedreich's ataxia: clinical features, pathogenesis and management // Br. Med. Bull. 2017. Vol. 124(1). P. 19-30. DOI: 10.1093/bmb/ldx034.
18. Федоров А.И., Сухомясова А.Л., Голикова П.И., Иванов А.В., Николаева И.А., Степанова С.К., Григорьева Т.П., Максимова Н.Р. Распространенность спиноцеребеллярной атаксии I типа в Якутии: современное состояние // Медицинская генетика. 2020. № 19(7). С. 29-30. DOI: 10.25557/2073-7998.2020.07.29-30.
19. Новик А.А., Ионова Т.И. Руководство по исследованию качества жизни в медицине (4-е изд., перераб. и доп.) / под ред. акад. РАН Ю.Л. Шевченко. М.: РАЕН, 2021. 664 с.
20. Ending the diagnostic odyssey for children with a rare disease. Global commission year one report 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://globalrare-disease-commission.com/wp-content/uploads/2024/05/Global-Commission-Year-One-Report501636829.1.pdf> (дата обращения: 11.10.2024).
21. Иванова Г.Е., Мельникова Е.В., Шамалов Н.А., Бодрова Р.А., Шмонин А.А., Суворов А.Ю., Нырклов Г.В., Тулупов Д.О. Использование МКФ и оценочных шкал в медицинской реабилитации // Вестник восстановительной медицины. 2018. Т. 17, № 3 (85). С. 14-20.
22. Lowit A., Egan A., Hadjivassiliou M. Feasibility and acceptability of lee Silverman voice treatment in progressive ataxias // Cerebellum. 2020. Vol. 19(5). P. 701-714.
23. Балашова И. Н. Шкала оценки дизартрии как инструмент клинической работы логопеда // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2016. № 1 (131). С. 312-317.
24. Belafsky P.C., Mouadeb D.A., Rees C.J., Pryor J.C., Postma G.N., Allen J. et al. Validity and reliability of the eating assessment tool (EAT-10) // Ann Otol Rhinol Laryngol. 2008. Vol. 117. P. 919-24.
25. Weyer A., Abele M., Schmitz-Hubsch T., Schoch B., Frings M., Timmann D. Reliability And validity of the scale for the assessment and rating of ataxia: a study in 64 Ataxia patients // Movement Disorders 2007. Vol. 22. P.1633-1637.
26. Rosen C.A., Lee A.S., Osborne J., Zullo T., Murry T. Development and validation of the voice handicap index-10 // Laryngoscope. 2004. Vol. 114. P.1549-1556. DOI: 10.1097/00005537-200409000-00009.
27. World Health Organization International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF); WHO: Geneva, Switzerland, 2001.
28. Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF quality of life assessment The WHO-QOL Group // Psychol. Med. 1998. Vol. 28. P. 551-558. DOI: 10.1017/s0033291798006667.

УДК 37.017.7:37.061  
DOI

## РЕЗИЛЬЕНТНОСТЬ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ КАК УСЛОВИЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ АСОЦИАЛЬНЫМ ПРОЯВЛЕНИЯМ

Бирюкова Ю.Н.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,  
Краснодар, e-mail: birj@bk.ru

Цель исследования – проанализировать особенности резильентности обучающегося, влияющие на его асоциальные проявления. Такой феномен, как противодействующее условие, на сегодняшний день является актуальным для психолого-педагогической науки. Успешность преодоления трудных жизненных ситуаций зависит от своевременной поддержки со стороны семьи, образовательного учреждения и окружающей среды. Формирование резильентности зависит от положительного оценивания мира, окружения и самого себя, несмотря на стрессорность и травматические переживания. На основе анализа научной литературы по данной теме определены основные особенности, влияющие на позитивное, здоровое развитие, постоянную компетентность в острых стрессовых условиях, положительное или быстрое восстановление после травматических событий. Анализируется сформированность жизнестойкости, обусловленная резильентностью обучающегося к стрессам и негативным жизненным обстоятельствам, минимизирующая влияние на их психическое здоровье и социальное поведение и снижающая риск возникновения асоциальных проявлений. Исследование подчеркивает важность формирования необходимой способности у подростков как условия своевременного противостояния негативным воздействиям. Статистические данные исследования подтверждают, что обучающиеся с высоким уровнем резильентности способны более эффективно справляться с кризисными ситуациями, противостоять тяжелым жизненным ситуациям при своевременной поддержке со стороны окружающей их среды, семьи, учителей, образовательного учреждения с целью препятствия проявлению агрессивности и асоциального поведения. Материалы статьи могут быть использованы для оценки образовательных программ, влияющих на улучшение социальной и педагогической поддержки, создание условий для здорового образа жизни и социальной интеграции обучающегося, положительного изменения атмосферы в образовательной организации.

**Ключевые слова:** резильентность, подросток, асоциальное проявление, образовательная организация, учитель, педагогическая поддержка, темпераментальность, сложная жизненная ситуация, трудные условия

## LEARNER RESISTANCE AS A CONDITION FOR COUNTERACTING ASOCIAL MANIFESTATIONS

Biryukova Yu.N.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, e-mail: birj@bk.ru

The purpose of the study is to analyze the characteristics of the student's resilience that affect his/her asocial manifestations. The student's resilience as a condition for counteracting asocial manifestations is currently relevant for psychological and pedagogical science. Success in overcoming difficult life situations depends on timely support from the family, educational institution and environment. The formation of resilience depends on a positive assessment of the world, environment and oneself, despite stress and traumatic experiences. Based on the analysis of psychological and pedagogical literature, the characteristics of the student's resilience that affect positive, healthy development, constant competence in acute stressful conditions, positive or rapid recovery after traumatic events are determined. The article analyzes the formation of resilience, conditioned by the student's resilience to stress and negative life circumstances, minimizing the impact on their mental health and social behavior, and reducing the risk of antisocial manifestations. The study emphasizes the importance of student resilience as a condition for counteracting antisocial manifestations. The statistical data of the study confirm the fact that students with a high level of resilience are able to cope with crisis situations more effectively, resist difficult life situations with timely support from the environment, family, teachers, educational institution in order to prevent the manifestation of aggression and antisocial behavior. The materials of the article can be used to evaluate educational programs that affect the improvement of social and pedagogical support, the creation of conditions for a healthy lifestyle and social integration of the student, and a positive change in the atmosphere in the educational organization.

**Keywords:** resistance, teenager, antisocial manifestation, educational organization, teacher, pedagogical support, temperamentality, difficult life situation, difficult conditions

### Введение

Рассматривая проблему резильентности, следует отметить способность человека успешно преодолевать сложные жизненные ситуации, адаптируясь к ним в случае необходимости, положительно оценивая мир, окружение и себя, несмотря на стрессорность и травматические переживания [1]. Формирование резильентности обучающе-

гося в семье, обществе и школе в настоящее время является главным объектом внимания социальных педагогов, психологов, учителей, родителей [2; 3]. Если своевременная и качественная диагностика, коррекционные мероприятия предотвращают проявления нежелательных мыслей в становлении человека как личности, демонстрации асоциального поведения в трудных ситуациях в школьной и в нешкольной среде обучаю-

щегося, то выраженное проявление неблагополучия на сегодняшний относится к незрелости [4].

Ранее понятие «резильентность» в научной литературе практически не упоминалось и не исследовалось. На сегодняшний день ситуация в корне изменилась, наблюдается рост интереса к этой проблематике со стороны психолого-педагогической науки в работах G.A. Bonanno, M. Rutter, Ю.Н. Бирюковой [5–7]. Актуальность проблемы данного феномена обусловлена противоречиями. С одной стороны, активный рост исследований в этой области, позволяющий глубже понимать механизмы резильентности обучающегося и влияющие на нее факторы [1]. С другой стороны, актуальным остается вопрос об эффективности применения полученных знаний на практике с целью оказания помощи подростку развивать способность удерживать психическое самообладание в стрессовых ситуациях в реальных жизненных обстоятельствах. Вторым противоречием можно считать необходимость развития резильентных качеств для предотвращения психических расстройств, обусловленных осознанием важности психического здоровья современного общества. С другой стороны, существует проблема, не конкретизированная своевременной поддержкой подростков с психическими расстройствами, создающими препятствия к доступу педагогической помощи и интернет-ресурсам, необходимым для понимания глобальной проблемы несформированности данной способности в подростковом возрасте [8]. Третье противоречие обусловлено социальными и культурными факторами, играющими важную роль в формировании резильентности, рассматриваемой как индивидуальное качество, способность и стратегии преодолевать трудности, с которыми сталкивается подросток в повседневной жизни [9]. Данные противоречия влияют на глубокое понимание исследуемого феномена с точки зрения внутренних и внешних факторов при адресной поддержке со стороны семьи, сверстников, образовательных учреждений и общества в целом.

Считается, что современное исследование резильентности в обществе и особенно в школьной среде опирается на следующие положения:

- позитивное и здоровое развитие подростка, несмотря на высокий уровень риска в его окружении;
- хроническая бедность, родительская психопатология, очень молодое родительство;
- постоянная компетентность в острых стрессовых условиях критических жизнен-

ных событий – разлука с родителями и развод, повторный брак одного из родителей, потеря брата или сестры;

– положительное или быстрое восстановление после травматических событий – смерть родителей, опыт насилия, стихийные бедствия или опыт войны и террора.

**Цель исследования** – проанализировать резильентность обучающегося и обосновать ее влияние на противодействие асоциальным проявлениям.

#### **Материалы и методы исследования**

Объект исследования – резильентность обучающегося в подростковом возрасте.

Предмет исследования – условия противодействия асоциальным проявлениям.

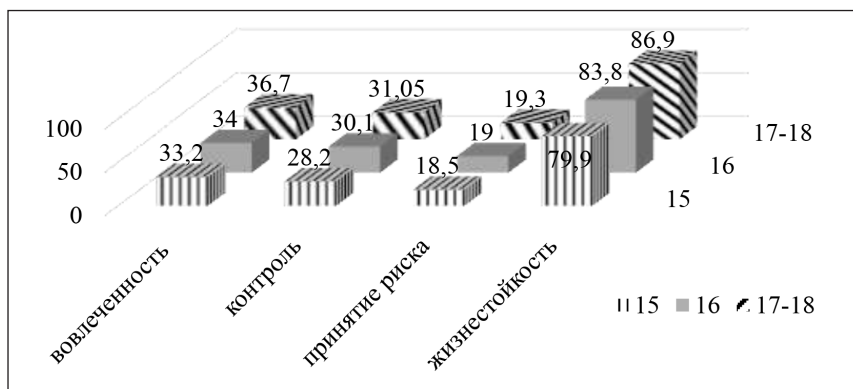
В основную часть при написании статьи вошли теоретические труды российских и зарубежных авторов, раскрывающие сущность феномена резильентности подросткового возраста, особенности социокультурных факторов, социальной и педагогической поддержки обучающихся в современной окружающей среде.

В исследовании использовался метод анализа научно-педагогической литературы, который составил его основу.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Резильентность, прежде всего, относится не только к отсутствию психических и иных расстройств, но включает приобретение или сохранение соответствующих подростковому возрасту навыков и способностей нормального развития [10]. Речь идет об успешном решении образовательной задачи развития, являющейся одной из важнейших основ выполнения последующих задач. С точки зрения педагогики и современных условий это считается зеркальным взаимодействием родителей и подростка [11, с. 45]. В ходе этого процесса обучающийся подросткового возраста приобретает навыки и способности, необходимые для положительного развития. Успешное преодоление трудных жизненных ситуаций и умение проявлять социальное поведение подразумевают дальнейшее развитие и личностный рост, способствующий формированию резильентности обучающегося.

Основным фактором, способствующим противодействию стрессам и негативным жизненным обстоятельствам, является сформированная жизнестойкость. Исследование способности психологически восстанавливаться в подростковом возрасте проводилось по методике «Тест жизнестойкости» (С. Мадди [12]) в адаптации Д.А. Леонтьева» [13, с. 18] (рисунок) в сентябре 2024 г.



*Выраженность компонентов жизнестойкости у обучающихся подросткового возраста*

В опросе приняли участие 150 учеников средних образовательных школ Краснодарского края. Обработка результатов производилась при помощи статистической программы «SPSS Statistiks 23» и позволила выявить среднее значение компонентов для сохранения здоровья и оптимального уровня активности в стрессогенных условиях [14].

Основной период становления жизнестойкости – это детский возраст в комфортных детско-родительских отношениях, способствующих развитию компонентов вовлеченности, контроля и принятия риска. В подростковом возрасте возникает необходимость корректировки данных компонентов в составе жизнестойкости.

На рисунке отмечено, что показатель компонента «принятие риска» в возрасте 16–18 лет является высоким из-за наличия богатых впечатлений испытуемых воспринимать изменчивость и неоднородность окружающей среды. Для сохранения психического здоровья и оптимального уровня активности в стрессовых ситуациях следует развивать жизнестойкость в совокупности ярко выраженных всех трех компонентов. Противостояние жизненным трудностям позволяет обучающемуся адаптироваться к ним, минимизируя их влияние на психическое здоровье и социальное поведение. Исследование показало, что подростки с высоким уровнем резильентности способны более эффективно справляться с кризисными ситуациями. А это является подтверждением снижения риска возникновения отрицательных проявлений.

Итак, резильентность обучающегося представляет собой не врожденные черты личности подростка, а сформированные способности, приобретенные в процессе развития при его взаимодействии с окружением. Основным в этом взаимодействии выступает бинаправленный подход, то есть участие как подростка, так и окружающей среды

в формировании резильентности, способствующей социальному поведению. Активное взаимодействие обучающегося с окружающей средой в первую очередь формируется в стремлении на успех и избегании неудач. Данное поведение оказывает наибольшее влияние на состояние окружающей действительности обучающегося и его положения в ней. Социальное поведение способствует всевозможным проявлениям добра и зла, дружелюбности, стремлению к успеху и власти, развитию уверенности. Что касается отрицательных форм асоциальных проявлений в процессе формирования резильентности обучающегося, то основной характеристикой является его агрессия [15, с. 87–96]. Привычные условия окружающей среды оказывают влияние на процесс ярче, чем положительный и стабилизирующий предыдущий опыт обучения, способствующий формированию умения преодолевать трудности. Подросток в процессе развития приобретает навыки выходить из предыдущего опыта резильентным и быть готовым к благоприятным предпосылкам успешного выполнения будущих требований.

Следует обратить внимание на то, что резильентность не означает стабильного иммунитета к негативным жизненным событиям и психическим расстройствам, но представляет собой в личности внутреннюю структуру, способную изменяться во времени и разных ситуациях. Успешное преодоление сложных ситуаций влияет на становление и развитие подростка, сильно изменяя его мировоззрение, осознание и поведение. Следовательно, во время формирования резильентности обучающегося развивается уязвимость в условиях острых стрессовых жизненных ситуаций. В этом смысле подросток к моменту перехода к взрослой жизни может быть адаптированным, умеющим преодолеть препятствия, казаться в большей мере уязвимым, чем на более позднем

этапе, в сравнении с другими факторами риска. Гибкость, отвечающая требованиям конкретной ситуации, проявляется как «эластичная» резильентность, но не обозначающая пожизненную способность в соответствии с девизом: однажды приобретенная значит всегда присутствующая.

С самого детства каждый подросток учится адаптироваться и проходит через разные этапы социализации в обществе, включающие множество факторов, задача которых заключается в научении и адаптации человека как личности к новым ценностям и нормам. Его интеграция в социальную среду может быть как со знаком «+», так и со знаком «-». Готовя обучающегося к взаимодействию с окружающим миром, следует учитывать особенности развития и побуждения его активности, способствующей формированию резильентности к разнообразным негативным воздействиям. Обучающемуся в образовательной среде необходимо создавать условия, в которых он будет спокойным, уравновешенным и мотивированным к проявлению «психологической резильентности». В условиях школы подросток получит одобрение скорее всего у сверстников, критикуя и отчуждая взрослое окружение. Поэтому, стимулируя его активность, образовательная организация и общество в целом должны быть направлены на формирование умения справляться с отрицательными воздействиями через развитие:

- системы ценностных ориентаций;
- конструктивного общения, прежде всего проявляющегося как навыки экологичной совместной деятельности со сверстниками, учителями и родителями с демонстрацией сопротивления отрицательному давлению извне;
- познания мотивации в разных видах деятельности;
- способности быть ответственным за свои действия и поведение;
- продуктивного и креативного мышления (умение в предвидении);
- сохранения эмоционального здоровья, проявления стрессоустойчивости.

Следовательно, школа является приоритетом формирования резильентности обучающегося как условие противодействия асоциальным проявлениям вне ее. В образовательной среде должны быть включены и реализованы соответствующие профилактические мероприятия, направленные на координацию у обучающегося представлений о здоровьесбережении в сфере психологической, эмоциональной и поведенческой резильентности [16, с. 8]. В современной школе происходит привитие подростку

первоначальных и совершенствование имеющихся знаний и умений о безопасности взаимодействия с окружением на уроках, во внеурочной деятельности и в игровых формах занятий. Своевременное инструктирование участников образовательного процесса способствует научению их четким нормативно-правильным действиям перед началом различных видов деятельности в учебных занятиях, в период внеклассных мероприятий, в походах, на экскурсиях, при участии в соревнованиях, дополнительных кружковых занятиях.

Совместная деятельность в школе является основной для развития заинтересованности к учебе, одновременно формируя резильентность обучающегося и осознанность к получению знаний при появлении социальных мотивов, мотивов учения и самоопределения. В старших классах у подростка проявляется произвольная мотивация, обусловленная сознательно поставленной целью, его мировоззрением. Формируются убеждения и мировоззрения, порождаемые самоидентификацией, осознанием собственного Я и окружения. Находясь на пороге самостоятельной взрослой жизни, он подвергается влиянию разных внутренних сомнений и тревог, связанных с предстоящим самоопределением. В этот период важно выявить причину нежелания учиться и проявлять деструктивное поведение к учебной деятельности. Сформированная резильентность обучающегося в определенной области жизнедеятельности не способна автоматически влиять на другие сферы жизни и/или компетенции [17]. Например, старший подросток, систематически вовлеченный в родительские конфликты, проявляя резильентность к учебе, может быть нерезильентным к социальным контактам и отношениям с окружением.

В учебном процессе основная задача подразумевает выявление отсутствия заинтересованности у обучающегося учиться и своевременное принятие мер, способных предотвратить определенные негативные явления: академическую нерезильентность, агрессию, заниженную самооценку, депрессивные проявления. В таких случаях родители и учителя обязаны выявить причины проблем в процессе обучения с целью предоставления своевременной поддержки для их устранения, оказания существенно влияния на обучающегося. Справедливо отметить, что в подростковом возрасте целенаправленная поддержка является залогом гармоничного развития.

На сегодняшний день родители и школа сталкиваются с асоциальными проявлениями в старшем подростковом возрасте, обу-



словленными негативной информационной пропагандой. Обучающийся в данном возрасте уязвим и, не находя объекта для проявления своей любви в окружении, проявляет агрессию и жестокость. По мнению Э. Фромма, такая реакция помогает подростку избежать душевной боли. Асоциальные проявления в этом возрасте очень опасны для оценивания проблемной ситуации, поэтому необходимо предотвратить проявление агрессивности за счет нейтрализации истоков [18].

С рождения подростку присущи врожденные индивидуально-типологические особенности, заложенные в его темпераментальности [19]. Эмоциональная сторона темпераментальности различна. Так, у сангвинического типа преобладает радость, флегматический тип предрасположен к чувству, что в будущем будет все хорошо, меланхолический тип склонен к проявлению неподкрепленного страха, холерический тип характеризуется проявлениями гнева. Опытным путем установлено, что в основе некоторых асоциальных проявлений лежит гнев. Но это не означает, что все подростки от рождения холерического типа. У разной темпераментальности могут проявляться отрицательные эмоции и гнев в ответ на внешние раздражители, преломляясь через внутренние природные условия. У обучающегося первым раздражителем выступает семейная среда и взаимодействие с родителями [20; 21].

Разная темпераментальность родителей и ребенка способствует недопониманию между ними. Это приводит интровертных родителей к необоснованным подозрениям, нетерпимости, непониманию своего гиперактивного ребенка. Данное противоречие приводит к бунтарству, проявлению страха, гнева и асоциальным проявлениям в старшем подростковом возрасте в виде агрессии, порождая неприятие самого себя, препятствуя достижению определенной цели. В психолого-педагогической литературе под агрессивностью рассматривается целенаправленное причинение зла в достижении собственной цели; проявлении ситуативного, нестойкого гнева [22, с. 126; 23, с. 225–232; 24, с. 53].

Поведение обучающегося действительно подвержено влиянию различных норм и законов, присутствующих в образовательном учреждении и обществе. Правовые нормы определяют разрешенные и запрещенные действия, в то время как моральные и нравственные устои формируют представления о том, что считается «правильным» или «неправильным» в конкретной культуре. Когда обучающийся сознательно или бессознательно нарушает эти нор-

мы, его поведение может рассматриваться как асоциальное, отклоняющееся от общепринятых стандартов образовательного учреждения. Такие действия могут варьироваться от мелких проступков до серьезных преступлений и могут проявляться у различных возрастов и пола. Это подтверждает, что асоциальное поведение не является специфичным для какой-то одной группы, а может затрагивать широкий круг участников учебного процесса.

Исходя из социального контекста перцепция асоциального поведения изменяется с течением времени. Предъявляемые образовательным учреждением нормы и стандарты не статичны: они совершенствуются одновременно с изменениями в культурном социуме, экономике и политике. Социальное окружение, психическое здоровье, уровень стресса, а также ценности и убеждения обучающегося являются факторами, способствующими противодействию асоциальным проявлениям. Профилактические мероприятия должны быть направлены на разработку и модернизацию образовательных программ, изменения социально-педагогической поддержки, организация условий для здоровьесбережения и социальной интеграции, меняя атмосферу в образовательном учреждении в лучшую сторону.

### Выводы

Резильентность обучающегося представляет собой многоаспектный, сложный феномен, связывающий процессы преодоления трудностей при формировании и развитии личности. Она помогает адаптироваться и успешно справляться с токсичными ситуациями, за счет чего он становится в большей степени адаптированным к новым вызовам.

Одним из ключевых аспектов резильентности является то, что она не является фиксированной характеристикой, а представляет собой динамичное качество, имеющее возможность развиваться в зависимости от контекста и поддержки. Важно подчеркнуть, что резильентность обучающегося может проявляться по-разному, в зависимости от их индивидуальности, жизненного опыта и поддержки, которую они получают от окружающей среды.

В процессе исследования факторов, обеспечивающих резильентность обучающегося как условие противодействия асоциальным проявлениям, необходимо принимать во внимание множество аспектов. Основными факторами, способствующими формированию резильентности, являются:

1. Социальная поддержка семьи, родственников, друзей, учителей и иных зна-

чимых взрослых, организующих эмоциональную и практическую помощь, являющуюся основной в формировании данного феномена.

2. Личностные предпосылки – оптимизм, уверенность в себе и саморегуляции, содействующие формированию умения преодолевать препятствия со способностью своевременно психологически восстанавливаться.

3. Опыт преодоления эмоциональных трудностей и препятствий для накопления способностей и ресурсов, чтобы успешно справляться с будущими вызовами судьбы.

4. Педагогическая поддержка в образовательной среде, способствующая развитию критического и креативного мышления, навыков саморегуляции у обучающегося, влияющих на его резильентность.

Исследование факторов и компонентов резильентности обучающегося как условие противодействия асоциальным проявлениям дало возможность провести тщательный анализ личностных предпосылок и характеристик, способствующих существованию и развитию. Анализ позволил не только оценить механизмы, но и спроектировать функциональные стратегии и тактики поддержки в образовательной среде обучающегося, оказавшегося в неблагоприятных токсичных условиях, позволяющих ему в период взросления быстро находить потенциальные ресурсы для преодоления сложных ситуаций, возникающих на жизненном пути.

### Список литературы

1. Бирюкова Ю.Н. К вопросу о сущности феномена резильентности. Подходы и перспективы // Мир науки, культуры, образования. 2024. № 2 (105). С. 23–25. DOI: 10.24412/1991-5497-2024-2105-23-25.
2. Бурдина Г.М. Резильентность образовательных результатов, обучающихся по истории: опыт взаимодействия вуза и школы // Гуманизация образования. 2023. № 2. С. 143–152. DOI: 10.24412/1029-3388-2023-2-143-152.
3. Виноградов В.Л. Поливариантность факторов личностной резильентности и ее влияние на академическую успешность школьников // Психологическая наука и образование. 2023. Т. 28, № 5. С. 85–99. DOI: 10.17759/pse.2023280507.
4. Федотова Н.В. Повышение резильентности обучающихся в условиях социально-экономической сегрегации образовательных организаций // Междисциплинарный подход к подготовке современного педагога: сборник научных трудов. М., 2021. С. 143–149.
5. Bonanno G.A. Loss, trauma, and human resilience: Have we underestimated the human capacity to thrive after extremely adverse events? // American Psychologist. 2004. Vol. 59. P. 20–28.
6. Rutter M. Resilience in the face of adversity // British Journ. of Psychiatry. 1985. Vol. 147. P. 598–611.
7. Бирюкова Ю.Н. К вопросу о сущности феномена резильентности. Подходы и перспективы // Мир науки, культуры, образования. 2024. № 2 (105). С. 23–25. DOI: 10.24412/1991-5497-2024-2105-23-25.
8. Бирюкова Ю.Н. Семья в пространстве школы как фактор формирования резильентности обучающегося // ЦИТИСЭ. 2024. № 3 (41). С. 508–516.
9. Попова Ю.Н. Свобода лучше, чем несвобода? // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 126. С. 690–696. DOI: 10.21515/1990-4665-126-049.
10. Райхельгауз Л.Б. Формирование академической резильентности у обучающихся юношеского возраста // Казанский педагогический журнал. 2021. № 1 (144). С. 101–107. DOI: 10.51379/kpj.2021.145.2.012.
11. Попова Ю.Н. Психология и педагогика: практикум. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2015. 76 с.
12. Maddi S.R. On hardiness and other pathways to resilience // American Psychologist. 2005. Vol. 60, Is. 3. P. 261–262.
13. Леонтьев Д.А. Тест смысловых ориентаций (СЖО). 2-е изд. М.: Смысл, 2000. 63 с.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019615748 Российская Федерация. Программная модель многофакторного исследования личности Р. Кеттелла (№ 187): № 2019614432: заявл. 17.04.2019; опубл. 07.05.2019 / Ю.Н. Попова, Е.С. Орехова, С.А. Мухтаров, Т.В. Масаев.
15. Толстых Н.Н., Прихожан А.М. Психология подросткового возраста: учебник и практикум для вузов. М.: Юрайт, 2024. 446 с.
16. Бирюкова Ю.Н. Формирование здорового образа жизни у учащихся общеобразовательной школы на основе здоровьесберегающих технологий: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Краснодар, 2004. 22 с.
17. Бисерова Г.К. Нервно-психическая устойчивость как проявление академической резильентности обучающегося во взаимосвязи с темпераментом // Проблемы современного педагогического образования. 2024. № 82–4. С. 400–403.
18. Кузмина Е.Ф. Свобода лучше, чем несвобода? // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 126. С. 690–696. DOI: 10.21515/1990-4665-126-049.
19. Бирюкова Ю.Н. Темпераментальные характеристики старших подростков в социальном взаимодействии как предпосылка формирования резильентности // Мир науки, культуры, образования. 2024. № 3 (106). С. 31–34. DOI: 10.24412/1991-5497-2024-3106-31-34.
20. Попова Ю.Н., Карабин К.В., Кузмина Е.Ф., Кабанова С.В. Психофизиологические особенности военнослужащих // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2017. Т. 6, № 4 (21). С. 361–363.
21. Юркова Ю.В. Саморегуляция в системе профессионально важных качеств офицера в военно-профессиональной деятельности // Высшее образование сегодня. 2019. № 11. С. 54–59.
22. Казанская В.Г. Подросток. Трудности взросления. Книга для психологов. СПб., 2016. 237 с.
23. Донцов Д.А., Рыжов Б.Н., Донцова М.В., Сенкевич Л.В. Общая психология: введение в общую психологию, психология познавательных процессов: учебное пособие / под ред. Б.Н. Рыжова, Д.А. Донцова. М.: ФЛИНТА, 2020. 362 с.
24. Качественные и количественные методы психолого-педагогических исследований: учебное пособие / Сост. О.В. Чернова, С.А. Чернов. Чебоксары: ЧПУ им. И.Я. Яковлева, 2021. 76 с.

УДК 378.147.88:372.854  
DOI

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ В КУРСЕ ФИЗИЧЕСКОЙ И КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ

Герасимова И.В., Скворцова И.В.

ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск,  
e-mail: i\_gerassimova@mail.ru, irvir@bk.ru

Цель исследования: показать преимущества использования цифровой лаборатории (на примере учебно-лабораторного комплекса «Физическая и коллоидная химия» УНИТЕХ) по сравнению с традиционным оборудованием при обучении физической и коллоидной химии в педагогическом университете (направление «Педагогическое образование», профиль «Биология и химия»). Цифровая трансформация образовательного процесса по химии привела к появлению новых технических средств обучения, среди которых особое место занимают цифровые лаборатории, предназначенные для организации химического эксперимента на принципиально новом уровне. При этом вопросу использования такого оборудования при обучении химии в вузе уделяется недостаточно внимания. В статье рассмотрены теоретические основы, методики проведения и результаты практической работы по изучению скорости разложения триоксалата марганца с использованием фотоколориметрического метода на примере практической работы модуля «Кинетика» курса «Физической и коллоидной химии», выполненной традиционным способом (с использованием фотоколориметра КФК-3) и с использованием цифровой лаборатории. Экспериментальные результаты, полученные при проведении сравнительного исследования, совпадают. При этом цифровая лаборатория обладает рядом преимуществ (простота использования, сокращение времени проведения эксперимента, наглядность представления полученных результатов и др.), что позволяет повысить интерес студентов и результативность обучения в целом.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация образования, цифровая лаборатория, физическая химия

## USING A DIGITAL LABORATORY IN THE COURSE OF PHYSICAL AND COLLOIDAL CHEMISTRY

Gerasimova I.V., Skvortsova I.V.

Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: i\_gerassimova@mail.ru, irvir@bk.ru

The purpose of the study: to show the advantages of using a digital laboratory (using the example of the educational laboratory complex "Physical and colloidal Chemistry" UNITECH) in comparison with traditional equipment when teaching physical and colloidal chemistry at a pedagogical university (direction of Pedagogical education, profile Biology and Chemistry). The digital transformation of the educational process in chemistry has led to the emergence of new technical teaching tools, among which a special place is occupied by digital laboratories designed to organize chemical experiments at a fundamentally new level. At the same time, insufficient attention is paid to the issue of using such equipment when teaching chemistry at a university. The article discusses the theoretical foundations, methods and results of practical work on the study of the decomposition rate of manganese trioxalate using the photocolorimetric method on the example of the practical work of the module "Kinetics" of the course "Physical and colloidal Chemistry", performed in the traditional way (using the KFK-3 photocolorimeter) and using a digital laboratory. The experimental results obtained during the comparative study are the same. At the same time, the digital laboratory has a number of advantages (ease of use, reduction of experiment time, clarity of presentation of the results, etc.), which allows to increase the interest of students and the effectiveness of learning in general.

**Keywords:** digital transformation of education, digital laboratory, physical chemistry

### Введение

В течение последнего десятилетия отечественная система образования активно развивается благодаря наполнению информационной среды вузов и школ соответствующим оборудованием и учебными ресурсами. Новейшие информационные технологии, которые помогают студентам в учебном процессе и научно-исследовательской работе, успешно интегрируются в их будущую профессиональную деятельность. В условиях такой цифровой трансформации значительно повысились требования к подготовке педагогических кадров для системы образования. Будущие педагоги должны уметь применять в образовательных организациях электрон-

ную образовательную среду, включающую различные цифровые сервисы для обучающихся и преподавателей [1]. Для этого меняются подходы к процессу обучения, в арсенале средств педагогов появляются цифровые инструменты [2; 3]. Кроме того, модернизируется учебно-производственная база. Так, в рамках реализации программы Министерства просвещения РФ «Учитель будущего поколения России» в педагогических вузах были созданы технопарки универсальных педагогических компетенций, оснащенные новым современным оборудованием, в частности цифровыми лабораториями.

Цифровая лаборатория – это естественно-научная лаборатория, которая позволя-

ет организовать химический эксперимент на принципиально новом уровне, перейти к элементам научного исследования – от исключительно качественной оценки наблюдаемых явлений к анализу количественных характеристик [4]. Цифровые лаборатории имеют ряд преимуществ перед традиционной формой проведения химического эксперимента [5]:

- обеспечивают объективное и наглядное представление результатов эксперимента в виде графиков, диаграмм и таблиц;
- предоставляют возможность хранения компьютерной обработки результатов эксперимента, данных измерений;
- предоставляют возможность сопоставить данные, полученные в ходе различных экспериментов;
- сокращают время эксперимента;
- позволяют индивидуализировать обучение.

Технопарк Омского государственного педагогического университета оснащён несколькими цифровыми лабораториями по химии, среди которых цифровая лаборатория по кинетике (учебно-лабораторный комплекс «Физическая и коллоидная химия» УНИТЕХ). В работах [6; 7] рассмотрено применение цифровых лабораторий при обучении в вузе общехимическим дисциплинам, а также их роль в профессиональной подготовке будущих учителей химии. Однако также представляет интерес сравнить использование этого нового вида оборудования с традиционным при обучении фундаментальным химическим дисциплинам, например физической и коллоидной химии.

**Цель исследования:** показать преимущества использования цифровой лаборатории (на примере учебно-лабораторного комплекса «Физическая и коллоидная химия» УНИТЕХ) по сравнению с традиционным оборудованием при обучении физической и коллоидной химии в педагогическом университете (направление «Педагогическое образование», профиль «Биология и химия»).

#### Материал и методы исследования

В ходе исследования предстояло сравнить использование разных видов оборудования при выполнении студентами практических работ по физической и коллоидной химии. Для этого были использованы теоретические и эмпирические методы, такие как анализ, синтез, обобщение, изучение мнений студентов.

Дисциплина «Физическая и коллоидная химия» включена в обязательную часть структуры основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавра по направлению «44.03.05 Педа-

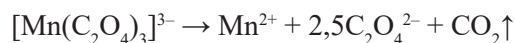
гогическое образование» (с двумя профилями подготовки), направленность (профиль) «Биология и химия». На изучение дисциплины по учебному плану отводится 216 часов. Курс физической и коллоидной химии состоит из разделов: химическая термодинамика, химическая кинетика, коллоидная химия. Термодинамический блок содержит работы по термохимии, химическому равновесию (на примере наиболее доступных ионных систем) и электрохимической термодинамике. В этом блоке студенты знакомятся с основами потенциометрии, рН-метрии. В кинетический блок включены работы по установлению порядков реакций, констант скоростей, энергий активации, времени полупревращения. При выполнении работ этого блока студенты осваивают газометрический и фотоколориметрический методы, а также знакомятся с гальваностатическим методом получения защитных покрытий, иллюстрирующим практическое использование закономерностей электрохимической кинетики. В блоке коллоидной химии студенты знакомятся с адсорбцией, свойствами коллоидных и микрогетерогенных систем.

Многие практические работы курса «Физическая и коллоидная химия» могут выполняться как с применением традиционного лабораторного оборудования (рН-метр/иономер, фотоколориметр КФК-3, кондуктометр и др.), так и с применением датчиков цифровой лаборатории учебно-лабораторного комплекса «Физическая и коллоидная химия» УНИТЕХ. Программа практических работ такой лаборатории соответствует современным требованиям ФГОС.

В качестве примера сравним методики, оборудование и результаты одной из работ, которая предлагается студентам для изучения раздела химической кинетики, – «Разложение триоксалата марганца фотоколориметрическим методом».

Цель практической работы: рассчитать константу скорости и время полупревращения реакции разложения триоксалата марганца.

В результате разложения комплексного иона триоксалата марганца  $[\text{Mn}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$  образуются ионы  $\text{Mn}^{2+}$ , оксалат-ионы и углекислый газ:



Данную работу можно проводить традиционным способом с помощью фотоколориметра КФК-3 и с применением фотоколориметра цифровой лаборатории учебно-лабораторного комплекса «Физическая и коллоидная химия» УНИТЕХ. Методики проведения практической работы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение методик проведения практической работы с применением традиционного оборудования и цифровой лаборатории

Традиционный способ [8; 9]	С применением датчиков цифровой лаборатории [10]
Оборудование	
Фотоколориметр КФК-3, набор кювет, секундомер, термометр, два химических стакана на 50 мл, пипетки на 2, 5, 10 мл	Учебно-лабораторный модуль «КИНЕТИКА», фотоколориметр 470 нм, сетевой кабель, магнитная мешалка, извлекатель магнитной мешалки, ручной дозатор переменного объема, промывалка с дистиллированной водой, стаканчик термостойкий 150 мл
Реактивы	
0,1 М KMnO <sub>4</sub> , 0,1 М MnSO <sub>4</sub> , 0,1 М H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,1 М KMnO <sub>4</sub> , 0,1 М MnSO <sub>4</sub> , 0,1 М H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Методика эксперимента	
1. Ознакомьтесь с методикой работы на фотоколориметре. 2. Включите фотоколориметр и установите синий светофильтр (длина волны 470 нм). 3. Приготовьте раствор триоксалата марганца: смешайте 1 мл раствора MnSO <sub>4</sub> и 7 мл раствора H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> . Прибавьте 2 мл раствора KMnO <sub>4</sub> . Бесцветная смесь становится окрашенной. 4. Поместите полученный коричневый раствор в кювету толщиной 10 мм. Примите за начало опыта первое измерение оптической плотности D <sub>0</sub> (в этот момент включите секундомер). Оптическую плотность D измеряйте через каждые 2 минуты. Общее количество точек не менее 12. 5. Результаты занесите в таблицу «Зависимость оптической плотности раствора триоксалата марганца от времени (T=___ К, D <sub>0</sub> =___)». 6. Постройте график зависимости логарифма оптической плотности от времени. Для построения графика воспользуйтесь методом наименьших квадратов	1. Тщательно промытый стаканчик на 150 мл с магнитной мешалкой установите в термостате. Термостат не используют, поскольку эксперимент проводят при комнатной температуре. 2. Пипеткой отмерьте 10 мл раствора MnSO <sub>4</sub> и 70 мл раствора H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> . Растворы перемешайте в стаканчике с помощью магнитной мешалки. 3. Фотоколориметр и термодатчик закрепите в лапках штативов по центру стакана так, чтобы они не касались его дна. Далее датчики соедините с помощью соединительных проводов с учебно-лабораторным модулем. 4. Выберите тип эксперимента КИНЕТИКА. На вкладке УСТРОЙСТВА выберите датчик ФОТОКОЛОРИМЕТР и ТЕРМОДАТЧИК. На вкладке ИЗМЕРЕНИЕ задайте интервал измерений 2 минуты, а общее количество точек 12. 5. В стаканчик добавьте 20 мл раствора KMnO <sub>4</sub> . Сразу же после добавления нажмите кнопку ЗАПИСЬ. По завершении записи данных можно посмотреть результаты измерений во вкладке РЕЗУЛЬТАТЫ

**Результаты исследования и их обсуждение**

На основании значений оптической плотности (D<sub>t</sub>), полученных с помощью фотоколориметра КФК-3 и фотоколориметра цифровой лаборатории, был рассчитан логарифм оптической плотности (lgD<sub>t</sub>).

Графическим методом определен порядок исследуемой реакции. Для этого построены графики в координатах lgD<sub>t</sub> = f(t). Экспериментальные данные дали прямолинейную зависимость для функции, описывающей реакцию первого порядка (1) (рис. 1).

Расчетным и графическим способами рассчитана константа скорости реакции. Расчетный способ: константу скорости реакции рассчитывают по уравнению первого порядка (1) для каждого момента времени, с последующим усреднением.

$$K_t = (2.3 / t) \cdot \lg(D_0 / D_t), \quad (1)$$

где D<sub>0</sub> – оптическая плотность в начальный момент времени;

D<sub>t</sub> – оптическая плотность вещества в разные моменты времени,

t – время, мин.

Графический способ: константу скорости реакции определяют по тангенсу наклона прямой, построенной в координатах lg(D<sub>0</sub> / D<sub>t</sub>) = f(t), что наглядно представлено на рисунке 2.

Время полупревращения рассчитано по формуле (2) и из графика.

$$t_{0,5} = (\ln 2) / K, \quad (2)$$

где t<sub>0,5</sub> – время полупревращения, K – константа скорости.

Полученные расчетные результаты кинетических параметров представлены в таблице 2.

Таким образом, проведенное исследование показало, что экспериментальные результаты, полученные с помощью разных приборов, совпадают, поэтому можно заменять общепринятое оборудование датчиками цифровой лаборатории.

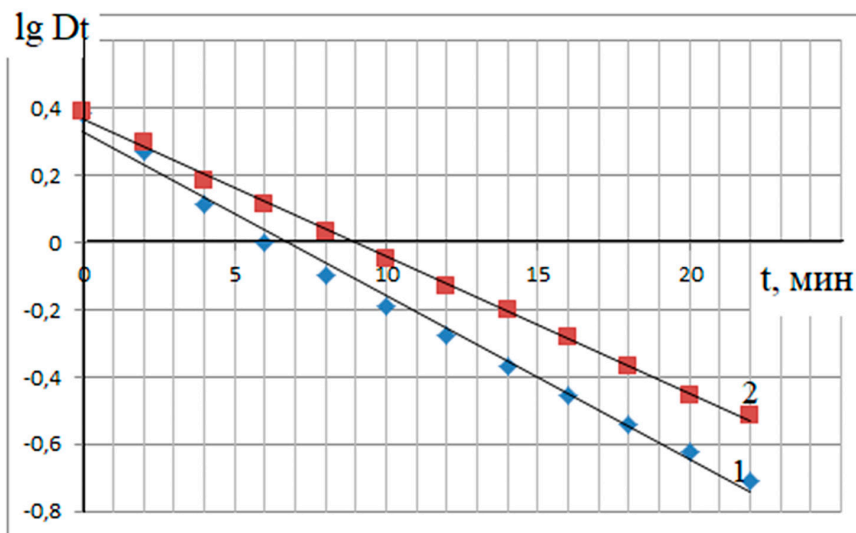


Рис. 1. График зависимости  $\lg D_t = f(t)$ : (1) – результаты, полученные на фотоколориметре КФК-3; (2) – результаты, полученные с помощью фотоколориметра учебно-лабораторного комплекса «Физическая и коллоидная химия» УНИТЕХ

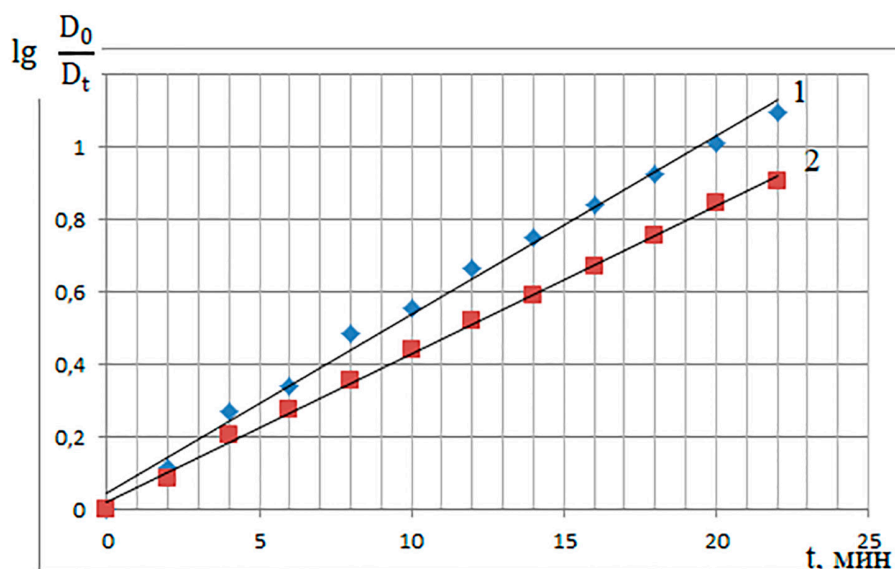


Рис. 2. График зависимости  $\lg(D_0/D_t) = f(t)$ : (1) – результаты, полученные на фотоколориметре КФК-3; (2) – результаты, полученные с помощью фотоколориметра учебно-лабораторного комплекса «Физическая и коллоидная химия» УНИТЕХ

Таблица 2

Сводка расчётных кинетических параметров

Кинетический параметр	Результаты, полученные с помощью фотоколориметра КФК-3	Результаты, полученные с помощью фотоколориметра учебно-лабораторного комплекса «Физическая и коллоидная химия» УНИТЕХ
$K$ (расч.)	0,123	0,097
$K$ (граф.)	0,113	0,113
$t_{0,5}$ (расч.)	5,63	7,14
$t_{0,5}$ (граф.)	6,13	6,13

Фотоколориметр КФК-3 традиционно используется при выполнении фотометрического анализа в учебном процессе. Он позволяет работать при разной длине волны, обладает широким диапазоном измерений, точен. Однако в настоящее время КФК-3 – дорогостоящий прибор, и не во всех учебных заведениях есть возможность его приобрести. Для работы на этом приборе от студентов требуются специальные умения: настройка, подбор длины волны, подготовка кювет, пробоотбор. При наличии возможности подключения КФК-3 к персональному компьютеру с целью автоматизации процесса обработки полученных результатов необходима установка специального программного обеспечения. Все это свидетельствует о возможности его замены цифровой лабораторией. Цифровая лаборатория обладает, по мнению авторов, следующими преимуществами. Не требуется настройка датчика фотоколориметра. Не требуется пробоотбор, датчик погружается непосредственно в пробирку, что повышает точность измерений и упрощает его использование. Также в состав цифровой лаборатории входит термостат, что позволяет проводить химический эксперимент при определенной температуре. Полученные данные сохраняются во вкладке ГРАФИКИ, их можно перенести в электронную таблицу Excel, что сокращает обработку результатов. Минусом фотоколориметра цифровой лаборатории является то, что он рассчитан только на определённую длину волны, т. е. для каждой работы необходимо приобретать «свой» датчик.

Несмотря на это ограничение, считаем возможным использование цифровой лаборатории при обучении фундаментальным химическим дисциплинам. Тем более, что умение работать с цифровыми датчиками необходимо студентам для их будущей профессиональной деятельности со школьниками. Опрос студентов показал, что им нравится работать с цифровой лабораторией. Помимо вышеуказанных преимуществ, они отметили, что более уверены при использовании цифровых датчиков по сравнению с традиционным оборудованием, поскольку уже имеют опыт их использования, приобретенный при изучении методических дисциплин, а также при организации

проектной и исследовательской деятельности школьников.

### Заключение

Фотометрический метод востребован в курсе физической и коллоидной химии (при проведении кинетических измерений, при изучении оптических свойств дисперсных систем и др.). Сравнительный анализ использования разных видов оборудования показал, что измерения можно проводить традиционным способом на фотоколориметре КФК-3 и с использованием цифровой лаборатории. При этом цифровая лаборатория обладает рядом преимуществ (простота использования, сокращение времени проведения эксперимента, наглядность представления полученных результатов и др.), что позволяет повысить интерес студентов и результативность обучения в целом.

### Список литературы

1. Концепция подготовки педагогических кадров для системы образования на период до 2030 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 24.06.2022 г. № 1688-р. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/141781/> (дата обращения: 20.09.2024).
2. Панокова С.В. Цифровые инструменты и сервисы в работе педагога: учебно-методическое пособие. М.: ПроПресс, 2020, 33 с.
3. Погуляева И.А. Цифровые инструменты в преподавании курса лекций по дисциплине «Химия» в вузе // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 12–1. С. 128–133. DOI: 10.17513/snt.39449.
4. Грабовый А.К. О классификации школьного химического эксперимента // Химия в школе. 2013. № 10. С. 53–57.
5. Дорофеев М.В., Зиминая А.И., Стунеева Ю.Б. Принципы эффективного применения цифровых лабораторий // Химия в школе. 2010. № 2. С. 55–63.
6. Вдовина С.В., Григорьева О.С. Применение цифровых лабораторий при изучении общехимических дисциплин в вузе // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 5. С. 300–302.
7. Новик И.Р., Жадаев А.Ю., Галкина Е.Н., Ганькина А.А. Использование цифровых лабораторий в процессе профессиональной подготовки будущих учителей химии // Современные проблемы науки и образования. 2023. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32622> (дата обращения: 20.09.2024). DOI: 10.17513/spno.32622.
8. Брянский Б.Я. Практикум по физической химии: Рабочая тетрадь: учебно-методическое пособие. Омск: Издательство ОмГПУ, 2001. 76 с.
9. Васюкова А.Н. Химия физическая и коллоидная: практикум. Благовещенск: ДальГАУ, 2015. 69 с.
10. Кагиров А.Г. Лабораторный практикум «КИНЕТИКА». Методические указания. Томск: изд-во ХХХ, 2017. 68 с.

УДК 378.1:372.8  
DOI

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ВУЗЕ

**Забихуллин Ф.З.**

*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет имени М. Акмуллы»,  
Уфа, e-mail: fzag@mail.ru*

Цель исследования – анализ научных проблем информационной дидактики в аспекте высшего профессионального инженерного образования, обоснование ведущих принципов педагогического взаимодействия в условиях цифровой трансформации содержания, форм и методов профессионального образования в вузе. Используются эмпирические и теоретические методы исследования, педагогическое наблюдение, методы педагогических измерений. Исследование проведено в период с 2022 по 2024 г. в Башкирском государственном педагогическом университете им. М. Акмуллы. В статье обозначены методологические проблемы информационной дидактики в аспекте высшего профессионального инженерного образования, предприняты усилия к их научному анализу и разрешению. Обозначены вероятные следствия цивилизационного выбора современного технократического общества в пользу информационно-ориентированного образования. Актуальность предпринятого исследования заключается в определении способов разрешения противоречия между необходимостью давать студентам систематическую научно обоснованную профессиональную подготовку в единстве фундаментальной, технологической и функциональной составляющих и нацеленностью современного профессионального инженерного образования преимущественно на приобретение устойчивых навыков профессионального функционирования в цифровой среде. Выявлены, сформулированы и обоснованы принципы педагогического взаимодействия, отражающие сущность и преобразующее значение информационно-ориентированного профессионального образования, способствующие всестороннему и полному профессиональному становлению студента в цифровой образовательной среде вуза.

**Ключевые слова:** информационная дидактика, профессиональное образование, профессиональная подготовка, педагогическое взаимодействие, информационно-ориентированный подход

## STUDY OF THE PRINCIPLES OF PEDAGOGICAL INTERACTION IN THE CONDITIONS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF PROFESSIONAL ENGINEERING EDUCATION IN THE UNIVERSITY

**Zabikhullin F.Z.**

*Akmulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, e-mail: fzag@mail.ru*

Objective: analysis of scientific problems of information didactics in the aspect of higher professional engineering education, substantiation of the leading principles of pedagogical interaction in the context of digital transformation of the content, forms and methods of professional education at the university. Empirical and theoretical research methods, pedagogical observation, methods of pedagogical measurements were used. The study was conducted in the period from 2012 to 2024 at the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. The article identifies the methodological problems of information didactics in the aspect of higher professional engineering education, efforts are made to scientifically analyze and resolve them. The probable consequences of the civilizational choice of a modern technocratic society in favor of information-oriented education are outlined. The relevance of the undertaken study lies in determining the ways to resolve the contradiction between the need to provide students with systematic, scientifically based professional training in the unity of fundamental, technological and functional components, and the focus of modern professional engineering education, mainly, on acquiring sustainable skills of professional functioning in the digital environment. The principles of pedagogical interaction have been identified, formulated and substantiated, reflecting the essence and transformative significance of information-oriented professional education, contributing to the comprehensive and complete professional development of a student in the digital educational environment of a university.

**Keywords:** information didactics, professional education, professional training, pedagogical interaction, information-oriented approach

### Введение

Проблемную область, связанную с разработкой различных аспектов информационно-ориентированного образования, принято называть информационной дидактикой. Ключевой характеристикой информационной дидактики является рассмотрение информации как дидактической категории, предшествующей знаниям. С одной сторо-

ны, в условиях стремительного наращивания содержания образования это востребовано временем, с другой – требует переосмысления базовых элементов образовательной системы, соответствующего развития категориального аппарата педагогики с учетом современного состояния образовательной практики и существующих тенденций развития общества. В статье обозначены



методологические проблемы информационной дидактики в аспекте высшего профессионального инженерного образования, предприняты усилия к их научному анализу и разрешению. Обозначены вероятные следствия цивилизационного выбора современного технократического общества в пользу информационно-ориентированного образования.

Актуальность предпринятого исследования заключается:

1) в научном анализе методологических проблем современной информационно-ориентированной парадигмы профессионального инженерного образования путем сопоставления с классической знание-ориентированной парадигмой;

2) в раскрытии противоречия между необходимостью давать студентам систематическую научно обоснованную профессиональную подготовку в единстве фундаментальной, технологической и функциональной составляющих и нацеленностью современного профессионального инженерного образования преимущественно на приобретение устойчивых навыков профессионального функционирования в цифровой среде;

3) в обосновании ведущих принципов педагогического взаимодействия, способствующего всестороннему и полному профессиональному становлению студента в цифровой образовательной среде вуза, с учетом научной базы в теории профессионального инженерного образования, с учетом специфики и вызовов современного технократического общества, с учетом тенденций развития профессиональных инженерных знаний в сфере информационных технологий и разработки программных решений для цифровой экономики.

**Цель исследования** – анализ научных проблем информационной дидактики в аспекте высшего профессионального инженерного образования, обоснование ведущих принципов педагогического взаимодействия в условиях цифровой трансформации содержания, форм и методов профессионального образования в вузе.

#### **Материалы и методы исследования**

Эмпирические и теоретические методы исследования, педагогическое наблюдение, методы педагогических измерений – опрос, анкетирование, тестирование. Исследование проведено в период с 2022 по 2024 г. в Башкирском государственном педагогическом университете им. М. Акмуллы (112 респондентов: бакалавров и магистров по направлению «Прикладная информатика», бакалавров по направлению «Информационные системы и технологии»).

Анкета содержала вопрос «Какой подход к изучению учебных дисциплин вы считаете предпочтительным для получения вами качественного профессионального образования?», были предложены варианты ответов: «Вначале изучить фундаментальные основы и технологии программной разработки и с этими знаниями выполнить практические работы», «Приступить к выполнению практических работ незамедлительно, а к фундаментальным основам и технологиям обращаться по мере возникновения затруднений».

В анкете требовалось обосновать выбор ответа. Предпочтение первого подхода респонденты чаще всего обосновывают тем, что им удобнее вначале рассмотреть типологию задач и изучить стандартные практики их решения, а только затем приступить к выполнению контрольных заданий. Предпочтение второго подхода объясняют возможностью экономить время на выполнение заданий или достаточностью общедоступных данных для выполнения. Есть и другие обоснования респондентов, которые сводятся к тому, что им хотелось бы изучать всего меньше, но при этом выполнить контрольные задания.

Согласно результатам анкетирования систематическое научно обоснованное изложение теории преподавателем находят востребованным 48% респондентов, среди которых 28% неплохо учатся. Эта категория студентов приучена работать самостоятельно и достигать успехов или учиться на уровне минимальных требований, без особого энтузиазма к процессу учения. Они предпочитают обсуждать практические вопросы, но одни в качестве свежих идей в разработке программного кода, а другие – в качестве подробных инструкций в приобретении базовых навыков работы средствами и технологиями разработки программных приложений. Как ни странно, и те и другие обладают определенными мотивами к выбранной им профессии. Но одним хватает волевых усилий для самоорганизации, а другим нужны постоянная поддержка и воодушевление и, естественно, строгий контроль достижений.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Исследование направлено на поиск ответов на возникшие вопросы. В частности: чем характеризуется информационно-ориентированное профессиональное образование; какова связь между познавательными психическими процессами студента и информационными процессами с его участием в аспекте формирования у него устойчи-

вых понятий, суждений и умозаключений; в чем состоит контекст педагогического взаимодействия в части управления информационными потоками, в части применения цифрового образовательного контента учебной дисциплины как опосредующего звена между студентом и преподавателем?

Различные аспекты информационно-ориентированного образования в течение ряда лет привлекают пристальное внимание ученых. Имеются значительные достижения в теории и практике профессионального образования в аспекте рассматриваемой проблемы. В частности, К.К. Колин [1] рассматривает основные черты и особенности развития информационного общества, в том числе цифровой трансформации образования. Представлены закономерности и принципы распространения, использования и наращивания жизненно важной информации в ее различных проявлениях, специфике и влиянии на жизнедеятельность человека в современном обществе.

В.А. Дадалко, С.В. Дадалко [2] рассматривают современное образование через призму информационной экономики и наукометрии, изучающей количественные методы развития науки как информационного процесса. Современные достижения наукометрии, принцип рассмотрения науки как информационного процесса оказывают значительное влияние на развитие информационной дидактики, информационно-ориентированного образования.

В трудах Р.А. Шаухаловой [3], В.Б. Алфеевой-Термискос [4], Д.Г. Зыбина, А.В. Антоновского, Д.Ю. Чуракова [5] рассматриваются различные аспекты цифровой трансформации научной и образовательной деятельности. Ученые пришли к выводу о том, что цифровая трансформация способствует качественному взаимодействию субъектов образовательного процесса в дистанционной форме. Однако ясно и то, что проблемы взаимодействия не могут быть решены исключительно путем цифровой трансформации.

А.Д. Сотников, Г.Р. Катасонова, Е.В. Стригина [6] рассматривают когнитивный, информационный и физический домены в модели информационного взаимодействия как комплекс образовательных подсистем, призванных обеспечить поступательное развитие знаний, умений и компетенций обучающихся. При этом остается неясным вопрос о механизмах трансформации учебной информации в личностное знание.

Вопросы цифровой трансформации процесса подготовки конкурентоспособного выпускника инженерного вуза в работе О.О. Горшковой [7] связываются с компе-

тенциями технического характера. Следует признать, что при всей важности технологий искусственного интеллекта и больших данных для автоматизации информационных процессов все же разрешение педагогических проблем не может быть сведено к техническим процедурам.

В целом анализ научной литературы свидетельствует о важности проблемы информационного взаимодействия субъектов в профессиональном образовании. Тем не менее проблемы информационно-ориентированного образования в аспекте профессиональной подготовки будущих инженеров по различным направлениям информационных технологий и разработки программных приложений для цифровой экономики не исчерпываются затронутыми в публикациях аспектами, остаются недостаточно изученными.

В результате научного анализа современной информационно-ориентированной парадигмы профессионального инженерного образования выявлена ее связь с классической знание-ориентированной парадигмой. А именно, структура профессиональной подготовки студента в обоих случаях остается единой и включает в себя фундаментальную, технологическую и функциональную составляющие. Меняются системные характеристики.

В классическом случае ведущим элементом системы является фундаментальная составляющая, на основе которой разворачивается технологическая, на основе технологической – функциональная. В современном варианте причинно-следственные связи элементов системы выстраиваются в обратном порядке. В первом случае мы получаем сильную интеллектуальную профессиональную базу выпускника, во втором – устойчивые навыки эффективного информационного взаимодействия выпускника в условиях цифровой трансформации сферы деятельности.

Предметом дальнейших исследований является раскрытие возможного противоречия между необходимостью давать студентам систематическую, научно обоснованную профессиональную подготовку в единстве фундаментальной, технологической и функциональной составляющих и нацеленностью современного профессионального инженерного образования преимущественно на приобретение устойчивых навыков профессионального функционирования в цифровой среде.

Знание – это полезная информация, ставшая достоянием личности. Состояние знания жизненно необходимо человеку

в быту и в профессии. Учебная информация, прежде чем стать личностным знанием, должна быть целесообразно отобрана, структурированно представлена и методически выверена для наилучшего позитивного усвоения. Научное знание не должно быть подменено информацией с неоднородной содержательной основой и существенными противоречиями. Однако в тех случаях, когда студент работает с обилием информационных источников, специальным образом не подготовленных для использования в образовательных целях, педагогическая ситуация существенным образом меняется. На первый план выступает необходимость в аналитических умениях студента, в критическом мышлении студента, которые традиционно в значительной степени вырабатываются преимущественно при систематическом дедуктивном изложении материала преподавателем на занятиях.

В ситуации доминирования дистанционной формы работы студент получает полное систематическое изложение учебного материала не от самого преподавателя, а из его методических материалов. При очном обучении, согласно учебному плану, существенная часть материала также отводится на самостоятельное изучение. Если при систематическом обсуждении учебного материала на лекциях и при должной их проработке на практических занятиях преподаватель имеет возможность обеспечить успешное усвоение студентами фундаментальных, технологических и функциональных основ предстоящей профессии, то в условиях современного информационно-ориентированного образования, когда студент работает больше самостоятельно, эти возможности существенно ограничены. При отсутствии непосредственного контакта в обучении сильнее всего страдает перцептивная сторона общения студента с преподавателем. Информационное взаимодействие, даже полноценное и правильно организованное, не может покрыть весь спектр задач, возложенных на педагогическое взаимодействие в профессиональном образовании в вузе.

В данной ситуации студент самостоятельно усваивает учебную информацию только в той мере, в какой она необходима ему для решения контрольного задания, и, решив задачу, освобождает память и ум от потерявшей актуальность информации, чтобы приступить к обработке другой информации, необходимой для решения следующей практической задачи. Профессиональные знания студента получаются фрагментарными, неполными, несвязными; а навыки формируются не на основе

собственных знаний студента, а на основе внешней информации, алгоритма, инструкции. Следовательно, если нет организующего начала, нет инструкций преподавателя, то нет мотивации к учению и практических действий студента.

В итоге студент усваивает профессиональные компетенции, значительно ущемляя свою базовую грамотность, и его компетентность существенным образом ограничивается там, где отсутствует внешний источник информации, так привычный ему в работе. Таким образом, возникает противоречие между базовой грамотностью студента, отсутствием целостности и системности восприятия и понимания студентом востребованных практикой профессиональных знаний и его компетентностным состоянием в части готовности решать профессиональные задачи базового и, возможно, даже творческого уровней.

Создается ситуация, когда студент функционально готов к профессиональным действиям и даже настроен на профессиональное творчество при определенных содержательных пробелах в профессиональной подготовке. При информационно-ориентированном профессиональном образовании студент не ориентирован на накопление собственных знаний, знания быстро устаревают и теряют актуальность, а нужную информацию он всегда может найти в электронном виде и скомпилировать согласно требованиям. Студент в своих практических действиях привыкает полагаться не на собственные знания и опыт деятельности, а на внешнюю информацию, на инструкции.

Таким образом, при использовании в профессиональном образовании информационно-ориентированного подхода акценты в образовательной системе существенным образом смещаются в пользу опоры на наличие устойчивых навыков информационного взаимодействия в цифровой среде современного технократического общества. При этом границы образовательной среды значительно расширяются, теряют четкие контуры и ограничения. Фундаментальная составляющая профессиональной подготовки студента во многом сокращается в пользу функциональной составляющей. Зачастую студент не научается правильно оперировать категориями базовой науки, для решения большинства учебных задач это не требуется. У студента формируется не аналитический ум, а алгоритмический стиль мышления, это делает его эффективным функционером, но не интеллектуальным лидером.

С другой стороны, студент научается умело искать, быстро находить и компили-

ровать профессиональные решения, опираясь на внешние данные. При этом общество и государство оказываются в уязвимом положении, поскольку, манипулируя внешними данными, можно легко манипулировать и принятыми решениями в любой сфере профессиональной деятельности. В этом заключаются вероятные следствия цивилизационного выбора современного технократического общества в пользу информационно-ориентированного образования. Возможно, это обстоятельство послужило одной из причин корректировки образовательной стратегии государства, в результате чего в нашей стране появилась целая сеть исследовательских университетов, выполняющих свою роль в восстановлении интеллектуального и обеспечении технологического лидерства страны в мире.

Профессиональное образование, особенно в сфере информационных технологий, перестает быть уделом избранных, имеющих классическое университетское образование и многолетний позитивный опыт систематического изложения учебных дисциплин. Этот факт требуется воспринимать как данность, как один из постулатов современного информационно-ориентированного образования и выстраивать свою педагогическую деятельность в соответствии с педагогическими реалиями, тенденциями развития инженерной профессии. Именно тенденции развития профессии, слишком быстрые изменения содержания профессиональной деятельности инженера сферы информационных технологий привели к доминированию информационно-ориентированного подхода в преподавании дисциплин.

В результате проведенного исследования с применением теоретических и эмпирических методов, были выявлены следующие принципы педагогического взаимодействия, отражающие сущность и преобразующее значение информационно-ориентированного профессионального образования, способствующие всестороннему и полному профессиональному становлению студента в цифровой образовательной среде вуза:

1) принятие учебной информации в качестве дидактической категории, предшествующей субъектному знанию, обозначающей содержательное наполнение образовательного стандарта в соответствии с образовательными запросами общества;

2) принятие учебной информации в качестве объекта познания, являющегося промежуточным состоянием научного знания при его трансформации в субъектное знание вследствие самостоятельной творческой активности познающего субъекта;

3) принятие учебной информации в качестве предмета дидактического анализа с позиции оптимального ее структурирования и эффективного представления, позволяющего обучаемым самостоятельно выстраивать индивидуальные образовательные траектории;

4) принятие учебной информации в качестве содержания познания, предметная сущность, научное значение и личностный смысл которой раскрываются в педагогическом взаимодействии, что предопределяет характер ее усвоения и структуру субъектного знания;

5) принятие информационных процессов на уровне общения, мышления и деятельности познающего субъекта в качестве элементарных составляющих высокотехнологического, алгоритмизированного, частично автоматизированного процесса учения;

6) принятие познавательной активности студента как движущей силы процесса учения, значимо влияющего на достижение результативности информационных процессов в познании субъекта вследствие организующего и вдохновляющего педагогического взаимодействия.

Выдвинутые тезисы требуют детального и последовательного описания в теории и практике профессионального инженерного образования. В частности, согласно первому принципу, учебная информация принимается в качестве дидактической категории, предшествующей субъектному знанию, она же обозначает содержательное наполнение образовательного стандарта в соответствии с образовательными запросами общества. В данном контексте под учебной информацией следует понимать систематизированные данные из профессиональной области знания, которые содержательно структурированы согласно программе учебной дисциплины, научно обоснованы, практически востребованы, технологически выверены, компактно представлены, методически проработаны и подготовлены к высокотехнологичной демонстрации и активному усвоению студентами.

Во втором принципе зафиксированы два важных момента: первый – «учебная информация является объектом познания и потому должна удовлетворять соответствующим условиям согласно оговоренной дефиниции», второй – «учебная информация может быть успешно трансформирована в субъектное знание только лишь вследствие самостоятельной творческой активности познающего субъекта».

Третий принцип фиксирует дидактический анализ учебной информации в качестве научной проблемы информационной дидакти-

тики, заключающейся в оптимальном структурировании и эффективном представлении, позволяющем выстраивать индивидуальные образовательные траектории.

Согласно четвертому принципу педагогическое взаимодействие предопределяет характер усвоения учебной информации и структуру субъектного знания, в котором воплощаются предметная сущность, научное значение и личностный смысл содержания познания. Педагогическое взаимодействие играет ведущую роль в надлежащем усвоении учебной информации, ее цель заключается в организации информационных процессов таким образом, чтобы наилучшим образом способствовать правильной структурной организации субъектного знания, сохранив сущность, значение и смысл исходного знания.

Пятый принцип фиксирует важность таких информационных процессов, как «накопление», «преобразование» и «приращение», их глубокую связь с уровнем общения, мышления и деятельности познающего субъекта. Этот принцип также подчеркивает целесообразность значительного сокращения временных затрат и интеллектуальных усилий на информационные процессы, поддающиеся автоматизации.

Шестой принцип закрепляет познавательную активность студента в качестве движущей силы процесса учения, значимо влияющего на достижение результативности информационных процессов в познании субъекта вследствие организующего и вдохновляющего педагогического взаимодействия. На результативность информационно-ориентированного образования преподаватель может повлиять соответствующим развитием познавательной активности студента.

В представленных принципах по-новому расставлены акценты в профессиональном образовании, сообразно информационно-ориентированному образованию, по-особенному выстроены структурные элементы системы, причинно-следственные отношения, по-иному расставлены приоритеты. Значение и сущность профессионального инженерного образования наполнены новым смыслом, соответствующим информационно-ориентированному образованию. Практика показывает, что следование указанным принципам при изучении технических дисциплин позволяет по-новому выстраивать педагогическую деятельность в соответствии с вызовами времени, особенностями современного технократического общества.

Таким образом, цифровая трансформация содержания, форм и методов профессионального образования соответствует вызовам современного технократического

общества, учитывает тенденции развития профессиональных инженерных знаний, предоставляет значительные преимущества в преподавании информационных технологий и разработки программных решений для цифровой экономики. Возможные несоответствия информационно-ориентированного профессионального образования и требований к профессиональной подготовке студентов могут быть нивелированы совершенствованием педагогического взаимодействия на основе предложенных принципов.

### Заключение

Знание – это достояние личности, основа ремесла и профессионального мировоззрения, она позволяет студенту найти свое место в мире профессий. Информация же всегда отчуждена от носителя, она не влияет на состояние знания, не характеризует степень овладения профессией. Универсальные компетенции по работе с цифровыми данными, хотя весьма и весьма востребованы сегодня, увы, сами по себе недостаточны для успешного решения профессиональных задач. Возможная подмена систематических знаний студента на только лишь умение работать с информацией пагубна для любой профессии.

Информационно-ориентированный подход в профессиональном образовании способствует подготовке эффективных функционеров, что особенно актуально в непростой ситуации с обеспеченностью инженерными кадрами в стране. Однако этот же подход отнюдь не способствует образованию и воспитанию интеллектуальной элиты, способной предложить прорывные решения мирового уровня в области современных проблем в сфере профессий.

В результате предпринятого исследования обоснованы ведущие принципы педагогического взаимодействия преподавателя и студента в условиях цифровой трансформации содержания, форм и методов профессионального инженерного образования. Практика преподавания показывает, что при соблюдении выделенных принципов педагогическое взаимодействие преподавателя и студента, в условиях доминирования информационно-ориентированного подхода, в определенной мере способствует развитию профессионализма студентов, будущих инженеров сферы информационных технологий.

Важный, основополагающий контекст педагогического взаимодействия в части управления информационными потоками, в части применения цифрового образовательного контента учебной дисциплины,

состоит в обеспечении студентов необходимым познавательным инструментарием для последовательного и поступательного развития у них научно обоснованной, всесторонней и крепкой базы профессиональных знаний, четких навыков, гибкости ума, аналитических способностей и критического мышления.

#### Список литературы

1. Колин К.К. Информационное общество: основные черты и особенности развития в условиях цифровизации // Ученый совет. 2021. № 8. С. 627–635. DOI: 10.33920/nik-02-2108-06.
2. Дадалко В.А., Дадалко С.В. Взгляд на современное образование и наукометрию через призму информационной экономики и развития науки // Ученый совет. 2021. № 1. С. 6–18. DOI: 10.33920/nik-02-2101-01.
3. Шаухалова Р.А. Педагогическая система формирования цифровой культуры студентов бакалавриата в информационно-образовательной среде университета: специальность 13.00.08 «Теория и методика профессионального образования»: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Грозный, 2021. 28 с.
4. Алферьева-Термсинос В.Б. Структура электронной информационно-образовательной среды педагогического вуза // Педагогический журнал. 2022. Т. 12, № 6–1. С. 458–466. DOI: 10.34670/AR.2022.96.45.070.
5. Зыбин Д.Г., Антоновский А.В., Чураков Д.Ю. Направления цифровой трансформации научной и образовательной деятельности // Прикладная психология и педагогика. 2023. Т. 8, № 1. С. 14–28. DOI: 10.12737/2500-0543-2023-8-1-14-28.
6. Сотников А.Д., Катасонова Г.Р., Стригина Е.В. Модели информационного взаимодействия в системе непрерывного образования // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20144> (дата обращения: 14.09.2024).
7. Горшкова О.О. Выявление возможностей цифровой трансформации процесса подготовки конкурентоспособного выпускника инженерного вуза // Современные проблемы науки и образования. 2024. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33309> (дата обращения: 14.09.2024). DOI: 10.17513/spno.33309.

УДК 376.37  
DOI

## ВОПРОСЫ ПРЕЕМСТВЕННОСТИ СТАЦИОНАРНОГО И АМБУЛАТОРНОГО ЭТАПА РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ СТАРШЕГО ВОЗРАСТА С АФАЗИЕЙ

<sup>1,2</sup>Королева Е.А.

<sup>1</sup>ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий»  
Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации, Москва;  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет»,  
Москва, e-mail: elizak11th@gmail.com

В исследовании сформулирована цель – выявить потребность в продолжении логопедической терапии по окончании стационарного этапа реабилитации у людей старшего возраста с афазией. В качестве методов исследования были выбраны теоретический анализ отечественной и зарубежной литературы, анкетирование, количественная и качественная оценка данных с применением статистических методов. Число пациентов старшего возраста с инсультом не имеет тенденции к снижению. В настоящее время медицинские реабилитационные центры и службы не могут в полной мере охватить постоянно растущее число пациентов, нуждающихся в восстановительном лечении и непрерывной реабилитации, нет четкого представления об использовании в обучении дистанционных технологий при речевых и коммуникативных нарушениях на амбулаторном этапе реабилитации. На основе анализа ответов респондентов была установлена вариативность форм и степеней выраженности афазии у людей старшего возраста, что обуславливает необходимость составления персональных программ восстановительного обучения. Выявлен запрос пациентов на продолжение логопедической реабилитации после стационарного этапа, а также доступность связи по сети Интернет даже в отдаленных от города местах проживания, которая позволяет реализовать непрерывность процесса логопедической реабилитации людей с афазией.

**Ключевые слова:** старший возраст, геронтологическая терапия, инсульт, афазия, реабилитация, восстановительное обучение, дистанционные технологии

## ISSUES OF CONTINUITY OF INPATIENT AND OUTPATIENT REHABILITATION OF OLDER PATIENTS WITH APHASIA

<sup>1,2</sup>Koroleva E.A.

<sup>1</sup>*Federal Centre of Brain Research and Neurotechnologies»*  
*of the Federal Medical-Biological Agency of Russian Federation, Moscow;*  
<sup>2</sup>*Moscow Pedagogical State University, Moscow, e-mail: elizak11th@gmail.com*

The aim of the study is to identify the need for continued speech therapy after the end of the inpatient rehabilitation stage in older people with aphasia. Theoretical analysis of domestic and foreign literature, questionnaires, quantitative and qualitative assessment of data using statistical methods were chosen as research methods. The number of older patients with stroke does not tend to decrease. Currently, medical rehabilitation centers and services cannot fully cover the ever-growing number of patients in need of restorative treatment and continuous rehabilitation, there is no clear understanding of the use of distance learning technologies in speech and communication disorders at the outpatient stage of rehabilitation. Based on the analysis of the respondents' responses, the variability of the forms and degrees of severity of aphasia in older people was revealed, which necessitates the creation of personal rehabilitation training programs. A request from patients to continue speech therapy rehabilitation after the inpatient stage has been identified, and the availability of Internet connection even in places far from the city allows for the continuity of the process of speech therapy rehabilitation of people with aphasia.

**Keywords:** older age, gerontological speech therapy, stroke, aphasia, rehabilitation, rehabilitation training, distance technologies

### Введение

Возрастает число людей старшего возраста среди населения планеты, увеличивается и не имеет тенденции к снижению ожидаемая продолжительность жизни. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики (Росстата) на 1 января 2024 г., 17,1% жителей страны находится в возрасте 65 лет и более, к 2046 г. по прогнозам Росстата доля пожилых лиц составит 22,6% [1].

Тенденция к старению населения определяет необходимость создания целей и задач для государства и общества, позволяющих удовлетворить потребности старшего поколения, повысить их качество жизни [2].

Вместе с тем сохраняется количество зафиксированных случаев инсульта у граждан пожилого возраста. По сведениям эпидемиологического исследования средний возраст развития инсульта 66,7 лет (63,7 года у мужчин и 69,4 года у женщин). Среди последствий нарушения мозгового

кровообращения выделяют двигательный и когнитивный дефицит, в том числе нарушения речи [3; 4]. Распад речевой функции после локального поражения мозга вследствие инсульта называется афазия [5, с. 124]. Острое нарушение мозгового кровообращения у людей старшего возраста протекает тяжелее, чем у молодых пациентов, в связи с возрастными изменениями головного мозга, сопутствующими заболеваниями, снижением компенсаторных возможностей организма [6; 7].

В реабилитационном процессе важно учитывать геронтологические особенности и другие персонализированные факторы, базирующиеся на Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья (МКФ), играющие особую роль в восстановительном обучении лиц старшего возраста, у которых накоплен свой жизненный опыт и опыт использования речи, а также имеются нарушения речи, обусловленные геронтогенезом [8; 9]. Возрастные изменения у людей старшей возрастной группы часто затрагивают все стороны речевой деятельности (импрессивную и экспрессивную речь), влияют на процесс общения и зависят от профессиональных и личностных качеств, культурных особенностей и состояния здоровья. На стыке медицинских, педагогических, социальных наук развивается новая область в коррекционной педагогике – геронтологопедия [10, с. 64].

Комплексом междисциплинарных и взаимосвязанных медицинских, социальных и других мер, включая различную помощь в преодолении трудностей после нарушения мозгового кровообращения, является медицинская реабилитация. Восстановительное обучение в реабилитационном процессе предоставляет решения для нивелирования последствий инсульта, изменения образа жизни, предотвращения осложнений [11].

Медицинская реабилитация (утв. приказом Министерства здравоохранения РФ от 29 декабря 2012 г. № 1705н) осуществляется в зависимости от тяжести состояния пациента в три этапа [12]:

1) первый этап медицинской реабилитации осуществляется в острый период течения заболевания или травмы в отделениях реанимации и интенсивной терапии медицинских организаций по профилю основного заболевания при наличии подтвержденной результатами обследования перспективы восстановления функций (реабилитационного потенциала) и отсутствии противопоказаний к методам реабилитации;

2) второй этап медицинской реабилитации реализуется в ранний восстановитель-

ный период течения заболевания или травмы, поздний реабилитационный период, период остаточных явлений течения заболевания, при хроническом течении заболевания вне обострения в стационарных условиях медицинских организаций (реабилитационных центрах, отделениях реабилитации);

3) третий этап медицинской реабилитации осуществляется в ранний и поздний реабилитационный периоды, период остаточных явлений течения заболевания, при хроническом течении заболевания вне обострения в отделениях (кабинетах) реабилитации специалистами по профилю оказываемой помощи медицинских организаций, оказывающих медицинскую помощь в амбулаторных условиях.

На сегодняшний день имеющиеся специализированные центры и отделения медицинской реабилитации не могут в полном объеме охватить всех нуждающихся в восстановительном обучении из-за отсутствия специальных кадров по месту проживания пациентов вдали от крупных городов, что затрудняет получение медицинских услуг по восстановлению различных функций на амбулаторном этапе. Одним из возможных путей преодоления данной проблемы является использование дистанционных технологий. Отсутствие отделений реабилитации на местах предполагает возможность замены очного логопедического занятия дистанционно контролируемым на основании Приказа Министерства здравоохранения РФ от 28 февраля 2023 г. № 81н «Об утверждении порядка организации медицинской реабилитации на дому» [13].

На втором (стационарном) этапе реабилитации применяются различные компьютерные программы для восстановления когнитивных функций, такие как «CogniFit», «BrainApps», «NeuroNation» и др., применительно к речевому восстановлению в России разработана и апробируется компьютерная программа «SoLominKa» [14; 15]. Однако на данный момент нет возможности отслеживания динамики в восстановительном обучении дистанционно на следующем этапе реабилитации.

**Цель исследования** – изучить потребность пациентов старшего возраста к продолжению восстановительного обучения после стационарного этапа реабилитации.

#### **Материалы и методы исследования**

Были применены теоретические (анализ литературы) и эмпирические (анкетирование) методы; количественная и качественная оценка данных с применением статистических методов.



Исследование осуществлялось на базе ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА России в отделении медицинской реабилитации для пациентов с нарушениями функций центральной нервной системы. Для формирования целевой группы были сформулированы критерии включения: возраст от 60 лет и старше (предпенсионный и пенсионный возраст); наличие афазии по результатам логопедического обследования; сохранное понимание ситуативной речи и/или наличие родственников. В период с 2022 по 2024 г. было обследовано 606 пациентов. Пациенты были направлены на реабилитацию по разным причинам: последствия инсульта – 93,2%, тяжелая черепно-мозговая травма – 2,2%, нейродегенеративные нарушения – 3,7%, минно-взрывное ранение – 0,9%. Среди 76 пациентов старшей возрастной группы с афазией, согласно критериям, была сформирована группа из 54 пациентов.

По результатам логопедического обследования у всех респондентов была выявлена афазия разных форм и степеней выраженности. Распределение форм афазии опрошенных пациентов представлено на рис. 1.

По степени выраженности речевого дефекта представлены следующие результаты: очень грубая степень выраженности – 40,7%, грубая степень – 44,4%, средняя – 11,1%, легкая – 3,7%. Степень выраженности определялась согласно шкале Л.И. Вассермана для оценки степени выраженности речевых нарушений у больных с локальными поражениями мозга, предлагаемой клиническими рекомендациями.

Была разработана анкета «Отношение пациентов с афазией к дистанционным тех-

нологиям» с целью определения опыта использования цифровых технологий, а также желания и возможности продолжения логопедической реабилитации с помощью телекоммуникации. Анкета отражала автобиографические данные пациентов (пол, возраст, место проживания); степень владения компьютером или другим техническим средством; наличие родственников, которые могли бы оказать помощь в подключении к дистанционному занятию; желание продолжить занятия вне стационара с указанием формата работы.

### Результаты исследования и их обсуждение

В анкетировании приняли участие 63,1% мужчин и 36,9% женщин, среди них 70,4% в возрасте от 60 до 74 лет, 29,6% – от 75 до 89 лет, люди 90 лет и старше с афазией на момент проведения исследования в стационаре не находились.

Большая протяженность России определяет прием пациентов в медицинском центре федерального значения из разных субъектов Российской Федерации, таких как Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия), Курская область, Московская область, Сахалинская область, Саратовская область и др.

Данные показали широкий разброс мест проживания пациентов, распределение в процентном отношении представлено на рис. 2.

Многие пациенты живут не в крупных городах, а в селах и деревнях, в том числе отдаленных от города, однако сеть Интернет используют все опрошенные либо на телефоне, либо на компьютере или ином гаджете.

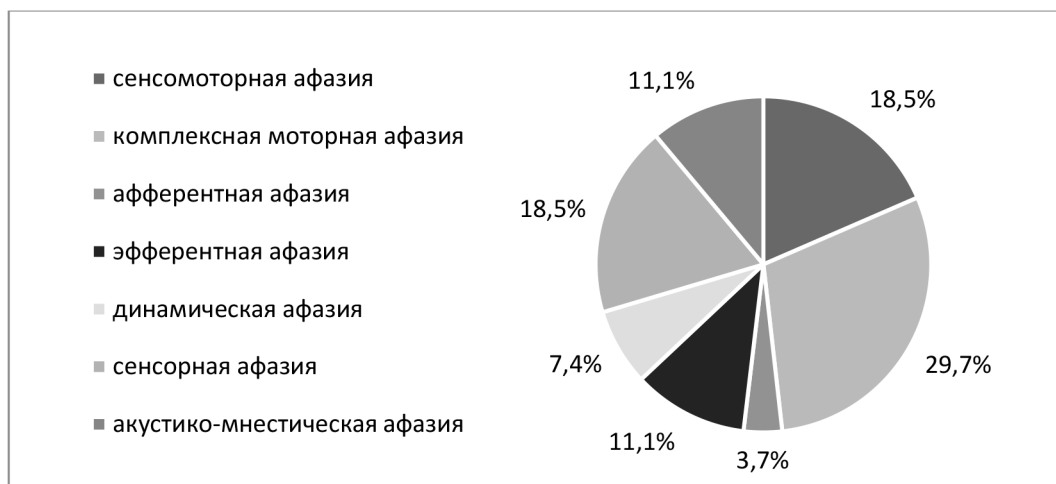


Рис. 1. Формы афазии опрошенных пациентов

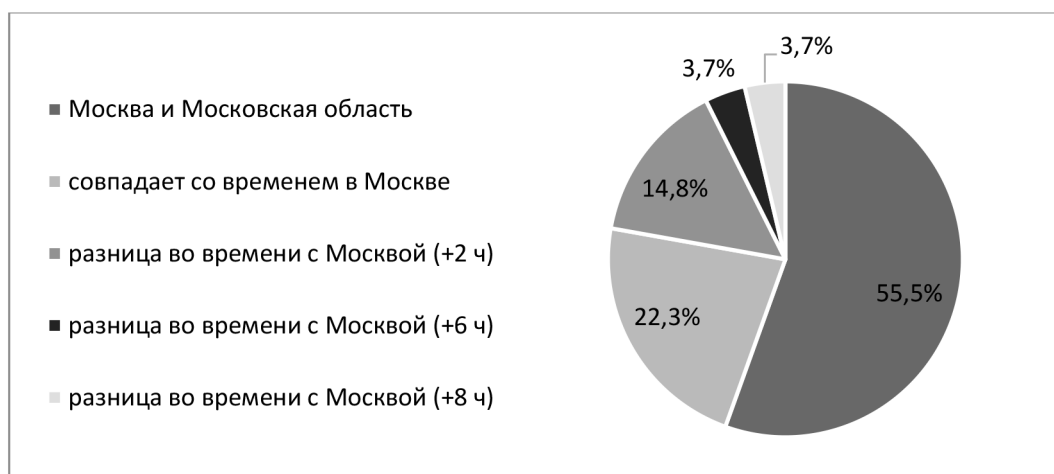


Рис. 2. Место проживания пациентов по отношению к Москве

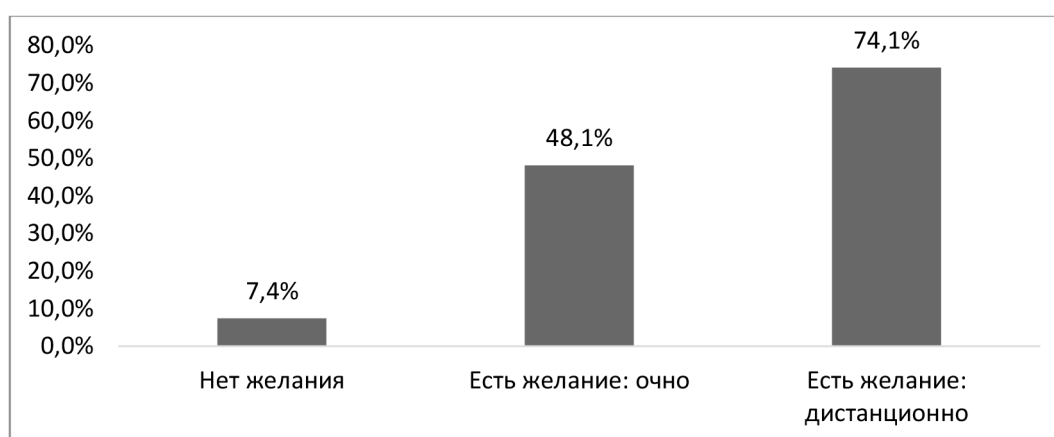


Рис. 3. Желание пациентов продолжить занятия после стационарного этапа реабилитации

Согласно ответам респондентов, 62,9% опрошенных умеют самостоятельно пользоваться компьютером, 36,1% не имеют опыта эксплуатации компьютера или другого технического средства. 33,3% никогда не связывались по видео, даже с помощью второго лица, в то время как 66,7% хотя бы раз общались с помощью видеосвязи. При этом все участники анкетирования подтверждают наличие родственников, которые могли бы помочь в подключении к занятиям посредством компьютера или телефона.

На вопрос о желании продолжить занятия с логопедом вне стационара с возможностью выбора были получены ответы, отличающиеся вариабельностью. Ответы представлены на рис. 3.

Пациенты, проживающие вдали от больших городов и имеющие среднюю или легкую степень речевого нарушения, отказались от продолжения занятий с логопедом. Среди лиц, имеющих желание продолжить речевую терапию в очном формате, большинство па-

циентов с очень грубой и грубой степенью выраженности афазии, проживающие в городе или вблизи города. Дистанционную форму взаимодействия с логопедом выбирали пациенты с разными степенями выраженности дефекта речи, чаще проживающие в городах, расположенных далеко от Москвы.

При устном опросе о формате дистанционных логопедических занятий пациенты и их близкие отдавали предпочтение видеосвязи логопеда и пациента, а также связи с помощью сообщений или чатов, аудиозвонков в мессенджерах, таких как WhatsApp, Telegram, консультациям специалистом родственников пациентов старшего возраста с афазией. Кроме того, важно обратить особое внимание на общение формата «логопед – логопед (на амбулаторном этапе)», которое может не только позволить проследить динамику пациента после завершения стационарного этапа, получить профессиональную оценку специалиста по поводу логопедической реабилитации и совместно

продумать дальнейший речевой режим, последующий индивидуальный план и возможные задания, но и имеет большое значение в обмене опытом между логопедами разных регионов, что также способствует повышению персонифицированного подхода в восстановительном обучении пациентов старшего возраста с афазией.

### Выводы

1. Формы афазии у пациентов старшего возраста и степень выраженности речевого дефекта вариативны, требуют составления индивидуальной программы логопедической реабилитации, продолжающейся и по окончании стационарного этапа.

2. Пациенты проживают в разных регионах России и имеют доступ к сети Интернет, а также различным мессенджерам для связи, что может обеспечить непрерывность реабилитационного процесса после стационарного этапа.

3. Абсолютное большинство пациентов готово к продолжению восстановительного обучения на амбулаторном этапе с очными или дистанционными встречами с логопедом. Таким образом, выявляется запрос от пациентов на создание дистанционно-контролируемой логопедической реабилитации.

Пациенты старшего возраста с постинсультной афазией находятся в группе риска граждан России, которым необходимо создавать условия для поддержания и повышения качества жизни, образовывать новую коммуникативную среду, позволяющую оставаться полноценным и активным членом общества. Данное исследование позволяет выявить потребность пациентов в продолжении реабилитационного процесса по окончании стационарного этапа. В настоящее время медицинские реабилитационные центры и службы не могут в полной мере охватить постоянно растущее число пациентов, нуждающихся в восстановительном лечении и непрерывной реабилитации.

Дистанционные технологии в восстановительном обучении – метод, позволяющий расширить возможности логопедии, являющийся одним из возможных способов формирования преемственности между стационарным и амбулаторным этапами речевой реабилитации пациентов с различными формами афазии посредством разных способов взаимодействия (чаты, аудио-, видеосвязь). Он способствует созданию коммуникативной среды для пожилых пациентов с нарушениями коммуникации в домашних условиях, обеспечивает улучшение качества жизни для осуществления максимально возможного повышения эффективности реабилитации.

Таким образом, дистанционно контролируемые технологии в логопедической реабилитации могут быть средством поддержания и повышения качества жизни пациентов старшего возраста с афазией и требуют дальнейшего исследования.

### Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. М., 1999. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/220709> (дата обращения: 24.09.2024).
2. Kaczorowska-Bray K., Michalik M., Milewski S. Speech therapy aspects of aging in people with intellectual disability. *Towarzystwo Logopedyczne, Polskie // Logopedia*. 2017. № 46. P. 243–260.
3. Анацкая Л.Н. Особенности ишемического инсульта у людей пожилого возраста // *Медицинские новости*. 2011. № 1. С. 10–12.
4. Левин О.С., Боголепова А.Н. Постинсультные двигательные и когнитивные нарушения: клинические особенности и современные подходы к реабилитации // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2020. № 120 (11). С. 99–107.
5. Лурья А.Р. Высшие корковые функции человека. Серия «Мастера психологии». СПб.: Питер, 2021. 768 с.
6. Александрова М.Д. Старение человека и его индивидуальные проявления // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 16. Психология. Педагогика*. 2014. № 2. С. 81–86.
7. Борисова Е.Г. Язык поколений. Как говорят пожилые // *MCU Journal of Philology. Theory of Linguistics. Linguistic Education*. 2022. № 3 (47). С. 63–71.
8. Третьякова В.Д. Возрастные изменения в мозге и факторы, влияющие на них // *Бюллетень науки и практики*. 2022. № 7. С. 151–191.
9. Королева Е.А. Дифференциация возрастных и патологических изменений речи пожилых людей // *Специальное образование*. 2024. № 1. С. 114–130.
10. Kaczorowska-Bray K., Milewski S., Michalik M. *Starość – jak ją widzi logopedia – Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego: Gdańsk*, 2020. 192 p.
11. Бердникович Е.С., Орлова О.С., Уклонская Д.В. Персонифицированный подход в речевой реабилитации: фокус на пациенте // *Специальное образование*. 2022. № 1 (65). С. 20–34.
12. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 29 декабря 2012 № 1705н «О порядке организации медицинской реабилитации» (Зарегистрировано в Минюсте России 22.02.2013 № 27276) [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=212954&ysclid=m3d1n4koe9744576182> (дата обращения: 11.09.2024).
13. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28.02.2023 № 81н «Об утверждении порядка организации медицинской реабилитации на дому, включая перечень медицинских вмешательств, оказываемых при медицинской реабилитации на дому, порядка предоставления пациенту медицинских изделий и порядка оплаты медицинской реабилитации на дому» [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1100&documentId=39777&ysclid=m3d1r25s8u814360625> (дата обращения: 11.09.2024).
14. Ларина О.Д. Восстановление речи у пациентов с афазией с применением интерактивных средств // *Специальное образование*. 2018. № 2 (50). С. 40–49. DOI: 10.26170/sp18-02-04.
15. Ларина О.Д. Интерактивные средства стимуляции социально-коммуникативного потенциала больных с афазией // *Специальное образование*. 2019. № 3 (55). С. 65–79. DOI: 10.26170/sp19-03-05.

УДК 376.68  
DOI

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АДАПТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ

Кочерьян М.А., Рыскин П.П., Шуралева Н.Н.

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,  
Екатеринбург, e-mail: otdel-98@mail.ru*

Цель исследования заключается в выявлении текущего состояния адаптации иностранных студентов к обучению в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет». В качестве метода исследования использован опрос, основанный на методике опросника К. Роджерса и Р. Даймонда. Опрос основан на ассоциативных реакциях опрашиваемого и предполагает оценку соответствия своего состояния по сравнению с приведенным высказыванием по шкале от «0» – полное несоответствие, до «6» – полное соответствие. В опросе принимали участие 86 иностранных студентов, проходящих подготовку по образовательным программам. Полученные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы: в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» применяется широкий спектр методов адаптации иностранных студентов. Помимо традиционных подходов, включающих изучение русского языка, кураторство, подготовку информационных материалов, в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» осуществляется активное вовлечение иностранных студентов в коммуникационные процессы в ходе проведения международных мероприятий, наиболее известным из которых является ежегодный Евразийский экономический форум молодежи. Результат опроса иностранных студентов, направленного на определение особенностей адаптации, показал достаточно позитивные результаты. Большинство опрошенных показали высокий уровень адаптивности, эмоционального комфорта и самоконтроля, вместе с тем удалось выявить группы иностранных студентов, характеризующихся низкими значениями адаптивности, уровня принятия других и эмоционального комфорта. Это позволяет использовать полученную информацию для формирования программ адаптации для иностранных студентов.

**Ключевые слова:** международный обмен студентами, иностранные студенты, опрос, адаптивность, уровень эмоционального комфорта, мультикультурная среда

## THE STUDY OF THE PECULIARITIES OF FOREIGN STUDENTS ADAPTATION

Kocheryan M.A., Ryskin P.P., Shuraleva N.N.

*Ural State University of Economics, Yekaterinburg, e-mail: otdel-98@mail.ru*

The purpose of the work is to identify the current state of adaptation of foreign students to study at the Ural State University of Economics. A survey based on the methodology of the K. Rogers and R. Diamond questionnaire was used as a research method. The survey is based on the associative reactions of the interviewee and assumes an assessment of the conformity of his condition compared to the above statement on a scale from “0” – complete inconsistency, to “6” – complete compliance. 86 international students who are undergoing training in educational programs took part in the survey. The obtained research results allow us to draw the following conclusions: the Ural State University of Economics uses a wide range of methods of adaptation of foreign students. In addition to traditional approaches, including learning the Russian language, curating, and preparing information materials, Ural State University of Economics actively involves foreign students in communication processes during international events, the most famous of which is the annual Eurasian Economic Youth Forum. The result of a survey of international students aimed at determining the characteristics of adaptation showed quite positive results. Most of the respondents showed a high level of adaptability, emotional comfort and self-control, however, it was possible to identify groups of international students characterized by low values of adaptability, acceptance of others and emotional comfort. This allows us to use the information obtained to form adaptation programs for international students.

**Keywords:** international student exchange, international students, survey, adaptability, level of emotional comfort, multicultural environment

### Введение

Активный интерес иностранных студентов к освоению образовательных программ в системе российского высшего образования приводит к формированию мультикультурной вузовской среды. В данном контексте формируется задача создания в организациях высшего образования необходимых социально-педагогических условий для иностранных студентов, поскольку выход из привычных условий жизни и об-

учения способствует проявлению негативных когнитивных, поведенческих и эмоциональных реакций, что в конечном итоге приводит к отказу от обучения в российских вузах. Среди наиболее распространенных проблем адаптации иностранных студентов выделяют непривычные социальные нормы и правила, языковой барьер, различия в особенностях осуществления учебного процесса, коммуникационные проблемы, связанные с налаживанием социальных контактов

с местным населением, проблемы с поиском работы. Соответственно, увеличивается роль инструментов психологической адаптации студентов к жизни и обучению в России, освоению культурных норм, изучению русского языка. Оценка уровня психологической адаптации в ходе обучения в российских вузах осуществляется путем выявления особенностей академической и социокультурной вовлеченности иностранных студентов и соответствующего психоэмоционального состояния [1, с. 76]. Как отмечено в статье [2, с. 19], «необходимо способствовать активизации общего ресурсного фонда, особенно в социальном управлении. Это способствует развитию личности, обеспечивая ее самореализацию в процессе деятельности и выработке механизмов преодоления трудностей. В постоянно трансформирующейся среде личности необходима преобразующая активность. При этом важно сохранить продуктивность и успешность своей деятельности». Академическая и социокультурная вовлеченность иностранных студентов включает связанные процессы интеграции в учёный процесс и усвоение социальных норм, ценностей и культурных кодов Российской Федерации. Успех данных процессов соответствует благополучному психоэмоциональному состоянию иностранных студентов, характеризующемуся устойчивым эмоциональным состоянием и удовлетворенностью процессом обучения и интеграцией в жизнь вуза.

**Цель исследования** заключается в выявлении текущего состояния адаптации иностранных студентов к обучению в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

#### **Материал и методы исследования**

Вопросы адаптации индивидуума к изменению культурной среды достаточно изучены, что позволяет выделить приоритетные модели исследования особенностей адаптации иностранных студентов к обучению в вузах Российской Федерации.

Фазная модель адаптации включает четыре этапа: 1) эйфорию от перехода в новую культурную среду; 2) культурный шок, вызванный различиями между родной и новой культурой; 3) приспособление к новой среде; 4) адаптация, сопровождаемая принятием новой культуры. Авторы отмечают, что «адаптация предполагает активное усвоение норм и ценностей групп и предстает как уровень внешнего овладения соответствующими формами и средствами деятельности. Возникшая объективная необходимость максимально адаптироваться в общности достигается за счет субъективно переживаемых утрат некоторых своих индивидуальных отличий. При этом в групповой деятельности могут складываться благоприятные условия для возникновения новообразований личности, которые соответствуют групповому развитию, но до этого отсутствовали у данного индивида» [3, с. 68]. Аналогичная модель предложена в работе [4], автор выделяет фазы адаптации к новой культурной среде, предполагающие постепенную интеграцию в новые условия на основе выделения общих черт между культурами.

В концепции аккультурации [5, с. 48] выделяют стратегии адаптации индивидуума к новым условиям, данные стратегии включают: 1) интеграцию, основанную на поиске общих черт в родной и принимающей культурах, «включение мигрантов в принимающее сообщество при сохранении некоторых элементов своей культуры, в принимающем сообществе взаимодействуют несколько этнических групп, контактирующих внутри крупного социального контекста на основе единых законов»; 2) ассимиляцию, подразумевающую полное принятие новой среды и ее норм, «люди дистанцируются от своей культуры, традиций, ценностей и переходят в культуру более крупного общества. Это может происходить через включение меньшинства в доминирующую группу либо в новое общество в целом»; 3) сепарацию, включающую полный отказ от новых условий и сохранение базовой идентичности, для данного состояния характерен «выбор самой группы, она может быть и желанной для людей какой-то группы меньшинства, тогда они сохраняют в повседневной жизни свои традиции вне доминирующего общества и существуют относительно обособленно»; 4) маргинализацию, подразумевающую отказ от норм как родной, так и принимающей культурной среды, для данного состояния характерна «потеря идентичности, замешательство и стресс на личностном уровне, ощущение отчужденности. Группа теряет контакт и со своей культурой, и с культурой большинства. Возможны выступления против общества».

Интересной является динамическая модель адаптации, базовой детерминантой которой является эмоциональный стресс, вызванный межкультурными различиями. По мнению автора [6, с. 67], стрессовое состояние приводит к росту межличностных коммуникаций, что достаточно распространено в вузовской среде, где присутствует институт кураторства для иностранных студентов.

Характеризуя имеющиеся исследования по адаптации иностранных студентов

к обучению в вузах Российской Федерации, можно отметить следующие моменты, выделяемые авторами [7, с. 21]. В большинстве случаев трудности адаптации вызваны наличием языкового барьера, далее идут факторы, связанные с различиями в климатических условиях проживания студентов и сложностью адаптации к модели реализации учебного процесса, связанного с обязательным посещением занятий, самостоятельной подготовкой и необходимостью активного участия в дискуссиях. Авторы [8, с. 109] делают вывод, что наиболее адаптированными к обучению в российских вузах являются студенты из стран СНГ, поскольку, как правило, владеют русским языком и имеют общие культурные коды.

С опорой на имеющийся опыт исследований адаптации иностранных студентов к обучению в российских вузах был сформирован опросный лист, включающий 101 вопрос из опросника К. Роджерса и Р. Даймонда [9]. Данная методика неоднократно использовалась для определения уровня социальной адаптации и в соответствии с результатами исследования, представленными в работе О.А. Белобрыкиной и А.В. Дроздовой [10], была несколько модифицирована, поэтому при проведе-

нии исследования использован вариант, представленный в статье А.К. Осницкого [11, с. 46]. Опрос содержит 101 вопрос, принцип получения информации основан на ассоциативных реакциях опрашиваемого, что предполагает оценку соответствия своего состояния по сравнению с приведенным высказыванием по шкале от «0» – полное несоответствие, до «6» – полное соответствие. Далее осуществляется расчет показателей в соответствии со следующим порядком (табл. 1).

После получения информации, представленной в таблице 1, осуществляется расчет интегральных показателей (табл. 2).

Высокий уровень интегральных значений адаптации показателей признается при достижении значений выше 60, средний уровень от 40 до 60 и нижний уровень при значениях ниже 40.

Информационная база исследования составлена из результатов опроса 86 иностранных студентов, проходящих подготовку по образовательным программам в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет». В опросе приняли участие студенты из следующих стран: Китай – 18, Иран – 14, Таджикистан – 24, Кот-д'Ивуар – 10, Узбекистан – 12, Египет – 8.

Таблица 1

Показатели и ключи интерпретации опроса [11]

№	Показатель	Номер высказывания	Нормы
1	а) Адаптивность	4, 5, 9, 12, 15, 19, 22, 23, 26, 27, 29, 33, 35, 37, 41, 44, 47, 51, 53, 55, 61, 63, 67, 72, 74, 75, 78, 80, 88, 91, 94, 96, 97, 98	68-136
	б) Дезадаптивность	2, 6, 7, 13, 16, 18, 25, 28, 32, 36, 38, 40, 42, 43, 49, 50, 54, 56, 59, 60, 62, 64, 69, 71, 73, 76, 77, 83, 84, 86, 90, 95, 99, 100	68-136
2	а) Лживость -	34, 45, 48, 81, 89	18-36
	б) Лживость +	8, 82, 92, 101	18-36
3	а) Приятие себя	33, 35, 55, 67, 72, 74, 75, 80, 88, 94, 96	22-42
	б) Неприятие себя	7, 59, 62, 65, 90, 95, 99	14-28
4	а) Приятие других	9, 14, 22, 26, 53, 97	12-24
	б) Неприятие других	2, 10, 21, 28, 40, 60, 76	14-28
5	а) Эмоциональный комфорт	23, 29, 30, 41, 44, 47, 78	14-28
	б) Эмоциональный дискомфорт	6, 42, 43, 49, 50, 83, 85	14-28
6	а) Внутренний контроль	4, 5, 11, 12, 13, 19, 27, 37, 51, 63, 68, 79, 91, 98	26-52
	б) Внешний контроль	25, 36, 52, 57, 70, 71, 73, 77	18-36
7	а) Доминирование	58, 61, 66	6-12
	б) Ведомость	16, 32, 38, 69, 84, 87	12-24
8	Эскапизм	17, 18, 54, 64, 86	10-20

**Таблица 2**

Интегральные показатели адаптации

Показатель	Формула расчета
Адаптация	$A = \frac{a}{a+b} \times 100$
Самоприятие	$S = \frac{a}{a+1,6b} \times 100$
Приятие других	$L = \frac{1,2a}{1,2a+b} \times 100$
Эмоциональный комфорт	$E = \frac{a}{a+b} \times 100$
Интернальность	$I = \frac{a}{a+1,4b} \times 100$
Стремление к доминированию	$D = \frac{2a}{2a+b} \times 100$

**Результаты исследования и их обсуждение**

В ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» обучается свыше 3000 иностранных студентов из 69 стран мира, для их успешной адаптации в вузе проводится комплексная работа, направленная на погружение в социокультурную среду России. Направления работы охватывают знакомство иностранных студентов с нормами поведения, ценностями, особенностями осуществления образовательного процесса, культурой нашей страны.

В университете действует подготовительный факультет, где реализуется программа изучения русского языка и подготовительные программы в области будущей профессиональной деятельности слушателей.

На базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» действует штаб-квартира Ассоциации иностранных студентов России, деятельность которой направлена на решение проблем адаптации иностранных студентов, защиту прав, помощь в решении бытовых вопросов, освоении образовательных программ. В университете существует институт кураторства, деятельность которого направлена на сопровождение иностранных студентов при решении учебных и бытовых вопросов, знакомство с подразделениями, координирующими

учебный процесс, преподавателями, социально-бытовой инфраструктурой университета. Работа кураторов поддерживается информационными материалами («памятками»), которыми обеспечивается каждый иностранный студент.

Спецификой адаптации иностранных студентов в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» является активное вовлечение иностранных студентов в коммуникационные процессы в ходе проведения международных мероприятий, наиболее известным из которых является ежегодный Евразийский экономический форум молодежи.

Результативность представленных мероприятий, направленных на успешную адаптацию иностранных студентов, можно оценить с помощью опроса. Значения показателей, рассчитанные в соответствии с порядком, отображенным в таблице 1, представлены в таблице 3.

Присутствие значений ниже диапазона нормы по показателям «Адаптивность» – 17%, «Приятие других» – 3%, «Эмоциональный комфорт» – 20% свидетельствует о наличии группы иностранных студентов, испытывающих трудности в процессе адаптации в учебном процессе и социальном общении. Такая ситуация требует внимания со стороны психологических служб университета и применения дополнительных программ психологической поддержки. Обобщение результатов исследования представлено на рисунке 1.

Как видно на рисунке, 83% опрошенных иностранных студентов демонстрируют ответы, свидетельствующие о нормальном уровне адаптивности в сложившейся ситуации. Данный показатель свидетельствует о достаточно благоприятных условиях обучения в вузе для иностранных студентов, совпадении ожидаемых и фактических результатов процесса обучения и активном применении методов адаптации иностранных студентов руководством вуза. Показатель дезадаптивности, характеризующий эмоциональную компоненту процесса адаптации, показывает, что 91% опрошенных иностранных студентов находятся в пределах нормы, а 7% опрошенных испытывают стресс, связанный с новыми для себя условиями обучения и проживания. Преодоление сложившейся ситуации может быть осуществлено путем применения антистрессовых механизмов работы со студентами: проведение информационных бесед, назначение кураторов, работа которых позволит более подробно ознакомить иностранных студентов с особенностями обучения.

Таблица 3

Значения показателей, рассчитанные по результатам опроса

№ анкеты	Адаптивность	Деадаптивность	Приятие себя	Неприятие себя	Приятие других	Неприятие других	Эмоциональный комфорт	Эмоциональный дискомфорт	Внутренний контроль	Внешний контроль	Доминирование	Ведомость	Эскапизм
1	58	106	19	25	19	29	10	19	30	22	9	17	12
2	101	71	45	14	24	18	13	18	34	22	9	16	11
3	104	114	38	25	19	24	20	27	42	28	14	20	15
4	119	128	45	30	19	30	28	25	44	31	8	27	20
5	125	122	50	28	27	26	22	21	50	19	10	24	16
6	100	119	33	23	16	24	16	28	52	31	10	23	15
7	112	65	37	19	22	12	18	14	59	17	9	12	12
8	109	132	42	31	20	29	22	21	48	35	6	18	21
9	112	111	44	20	20	23	18	22	50	26	9	23	16
10	99	122	35	33	18	27	14	23	45	24	7	18	22
11	55	100	18	27	18	14	14	18	21	25	7	17	21
12	100	119	31	23	22	24	16	28	48	25	8	26	16
13	109	71	35	21	25	11	14	18	51	23	11	13	8
14	107	120	39	19	21	20	15	26	46	21	11	23	18
15	101	125	31	25	22	17	17	27	44	32	8	19	17
16	90	112	32	26	15	32	21	22	47	31	12	11	15
17	113	126	43	21	17	29	29	23	37	37	15	26	18
18	109	107	36	24	20	25	25	26	47	22	9	17	14
19	96	67	36	10	12	13	19	15	46	23	9	18	12
20	95	117	32	20	23	29	13	25	45	25	12	15	20
21	114	124	48	31	14	23	22	25	41	31	12	27	19
22	95	123	28	23	27	30	17	23	48	28	8	24	15
23	52	111	19	17	13	28	10	29	31	18	4	16	16
24	106	67	35	20	15	13	19	15	54	16	9	17	10
25	58	116	21	27	16	27	11	18	27	26	9	19	16
26	97	69	31	11	15	16	25	14	44	20	14	15	10
27	103	103	34	16	17	21	21	26	48	19	10	17	19
28	63	102	22	25	20	24	10	26	26	28	14	12	11
29	89	132	28	28	11	30	21	26	45	24	8	25	23
30	105	113	36	29	24	28	20	20	45	27	5	28	9
31	111	139	43	30	16	23	15	28	54	32	12	22	18
32	111	112	40	23	19	18	21	24	55	26	9	20	19
33	114	115	44	32	23	24	22	24	42	24	9	20	18
34	105	121	35	20	19	25	19	33	48	28	8	17	20
35	118	126	40	25	27	22	19	29	46	28	9	20	17
36	65	105	24	21	10	29	13	17	35	24	10	17	22
37	97	70	30	22	23	15	17	16	40	11	10	16	12
38	53	111	19	28	14	20	10	28	36	22	7	14	17
39	103	124	35	28	27	25	14	17	48	32	9	24	23
40	60	105	19	27	12	20	10	27	32	22	6	16	16
41	114	114	39	17	17	23	20	31	50	23	11	21	19
42	117	117	44	18	26	22	22	23	46	28	12	18	17



Окончание табл. 3

№ анкеты	Адаптивность	Деадаптивность	Приятие себя	Неприятие себя	Приятие других	Неприятие других	Эмоциональный комфорт	Эмоциональный дискомфорт	Внутренний контроль	Внешний контроль	Доминирование	Ведомость	Эскапизм
43	98	80	35	20	19	18	22	16	36	15	15	13	14
44	126	132	46	35	25	28	22	29	47	21	11	24	20
45	113	114	39	19	21	21	21	30	44	32	11	14	21
46	105	110	34	18	22	29	21	28	48	35	12	25	13
47	65	101	23	20	16	19	12	22	33	30	7	15	15
48	110	117	37	17	22	32	19	28	56	24	9	24	9
49	95	111	29	33	23	22	15	29	51	24	11	20	16
50	123	125	46	22	22	23	23	33	55	38	7	19	16
51	125	122	42	25	20	29	23	22	55	22	16	26	15
52	56	91	17	20	17	22	13	16	29	24	8	19	15
53	100	62	39	14	15	16	19	13	39	11	11	20	9
54	99	106	39	26	19	25	19	25	45	24	8	12	11
55	111	110	39	17	15	26	24	29	44	26	15	32	8
56	124	119	39	22	27	24	26	31	53	32	13	22	18
57	60	101	21	24	11	16	12	20	33	22	8	11	16
58	93	59	30	19	22	14	17	14	40	15	11	6	14
59	116	109	44	18	17	29	24	26	47	35	13	20	13
60	121	116	39	22	19	16	23	24	50	28	7	21	20
61	115	122	43	29	21	20	20	16	54	32	10	27	19
62	116	117	46	33	30	17	19	27	46	24	14	26	12
63	92	116	35	20	15	21	12	23	45	26	13	22	15
64	121	110	42	21	22	30	22	23	63	28	6	19	12
65	125	101	39	20	19	24	25	20	65	25	15	18	12
66	98	124	32	25	17	30	17	24	50	26	16	20	16
67	62	110	21	25	20	24	12	23	38	21	9	13	21
68	106	66	35	11	26	14	15	17	41	15	10	16	12
69	103	119	33	25	20	30	19	28	39	32	14	14	14
70	114	126	38	20	25	29	17	22	51	31	8	26	16
71	106	117	33	31	16	17	24	23	45	25	9	19	18
72	95	119	32	23	16	25	18	26	44	31	8	22	20
73	94	112	31	21	18	23	18	20	42	31	10	20	17
74	99	122	30	24	19	27	17	31	51	24	11	22	15
75	123	110	41	29	26	17	24	15	46	22	14	19	18
76	106	110	37	23	20	36	20	18	46	31	11	23	14
77	107	110	37	25	20	21	16	26	51	23	8	17	15
78	58	83	19	19	16	18	10	17	35	27	8	9	15
79	106	72	44	18	15	13	16	16	50	13	16	17	9
80	53	90	14	18	13	18	9	27	31	26	10	10	14
81	119	137	40	30	18	25	25	25	55	31	14	26	22
82	90	122	37	24	13	20	16	31	53	30	13	18	28
83	110	123	41	20	19	21	21	22	41	35	8	31	18
84	105	128	37	24	13	29	19	29	46	28	11	15	15
85	120	120	39	23	25	23	27	28	41	21	9	20	24
86	59	119	18	23	12	29	9	22	35	30	5	15	12

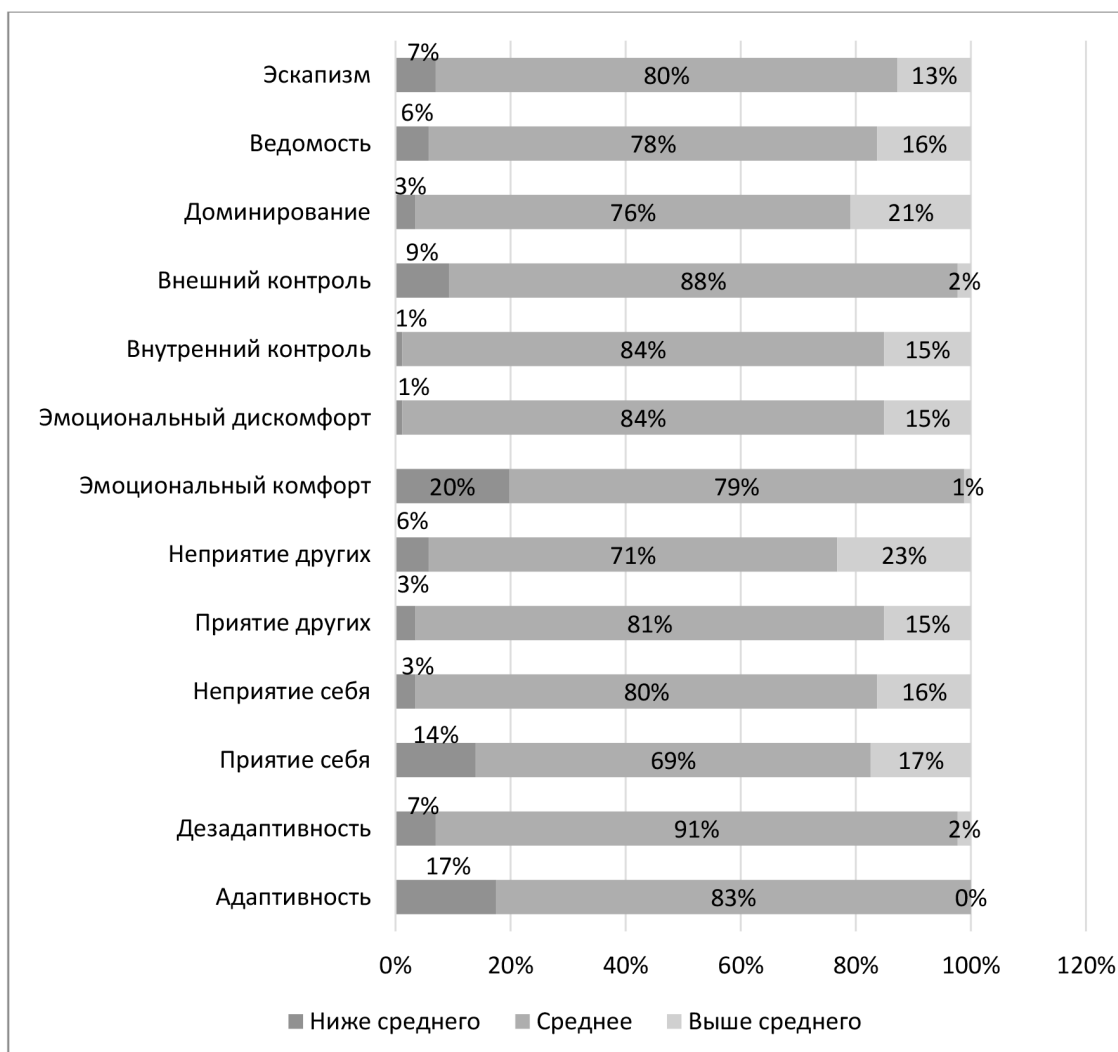


Рис. 1. Уровень показателей адаптации у иностранных студентов

Относительно комфортное состояние иностранных студентов характеризуют показатели «Приятие других» и «Неприятие других», по первому показателю завышенные ожидания относительно среды общения испытывают 3% опрошенных иностранных студентов, данный показатель является нормальным для студентов и в общем для молодежи. Низкий уровень завышенных значений показателя «Неприятие других» – 23% свидетельствует об отсутствии критического отношения к одноклассникам, достаточно высоком уровне взаимопонимания и взаимной адаптивности студентов в рамках студенческой среды общения.

Данные выводы подтверждаются и значениями показателей «Эмоционального комфорта» и «Эмоционального дискомфорта». В первом случае значения показателей в рамках нормы и превышающие норму составили в совокупности 80%, по второму

показателю эмоциональный дискомфорт выше нормы испытывают только 15% опрошенных иностранных студентов.

Значения показателей «Внешний контроль» и «Внутренний контроль» для большинства опрошенных остаются в пределах нормы: 88% и 84% соответственно. Такая ситуация свидетельствует о сохранении самоконтроля, критичности по отношению к своим поступкам и признанию роли внешних факторов в сложившейся ситуации. Далее представим значения интегральных показателей адаптации (рис. 2).

Характеризуя значения интегральных показателей, необходимо сделать выводы о том, что ответы большинства иностранных студентов в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» позволяют отнести их к группе со средними значениями адаптивности, средними значениями самопрятия и приятия других.

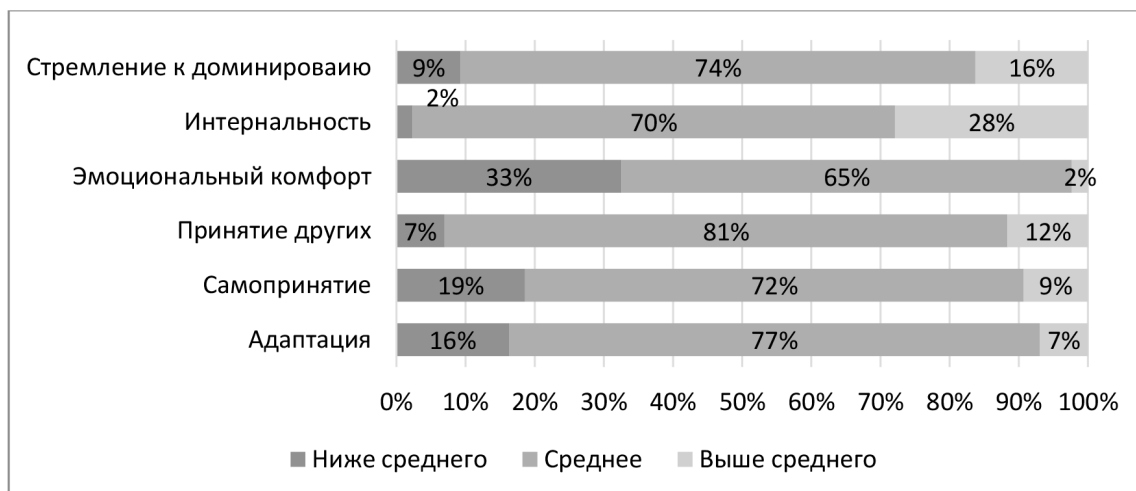


Рис. 2. Значения интегральных показателей адаптации

Как правило, студенты данной группы обладают достаточным количеством ресурсов для комфортной адаптации в новой для себя среде, что обуславливает высокий эмоциональный комфорт. Вместе с тем в ходе исследования удалось выявить студентов без четко выраженных характеристик адаптивности и с низким уровнем эмоционального комфорта. Данная группа иностранных студентов испытывает существенные сложности с адаптацией и нуждается в помощи со стороны вуза для активного включения в учебный процесс и социальное взаимодействие.

### Заключение

Обобщая полученные результаты в ходе исследования особенностей адаптации иностранных студентов, можно сделать следующие выводы.

Во-первых, значительный интерес к российской системе высшего образования со стороны иностранных студентов формирует исследовательскую повестку, связанную с изучением особенностей адаптации в образовательной и социальной среде.

Во-вторых, результат опроса иностранных студентов, направленного на определение особенностей адаптации, показал достаточно позитивные результаты. Большинство опрошенных показали высокий уровень адаптивности, эмоционального комфорта и самоконтроля.

В-третьих, удалось выявить группы иностранных студентов, характеризующихся различными значениями адаптивности, уровня принятия других и эмоционального комфорта. Это позволяет использовать полученную информацию для формирования программ адаптации для иностранных сту-

дентов в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

### Список литературы

1. Распаева Г.Д., Маркусь А.М., Ярославова Е.Н. Социокультурная адаптация иностранных студентов в российском вузе: коммуникативный аспект // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. 2022. Т. 14, № 1. С. 76-87.
2. Абубакар Я., Горелова Г.Г., Мануйлов Г.В. Жизнестойкость как один из ресурсов адаптации иностранных студентов // Психология. Психофизиология. 2023. Т. 16, № 1. С. 18-28.
3. Назаревич О.С. Теоретические подходы к определению социально-психологических аспектов адаптации личности // Вестник угроветедения. 2012. № 4 (11). С. 66-70.
4. Соболева Е.В., Авдеенко А.С. Подготовка студентов-психологов к информированию социума о значимых социально-психологических проблемах и способах их решения // Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. 2016. Т. 4, № 2 (13). С. 37-39.
5. Эндрюшко А.А. Теоретические подходы к изучению адаптации мигрантов в принимающем обществе: зарубежный опыт // Вестник института социологии. 2017. Т. 8, № 4. С. 45-70.
6. Абрамова М.А., Гончарова Г.С., Костюк В.Г. Модели этнокультурной адаптации молодежи Севера (на материалах социологических и социально-психологических исследований в республике Саха (Якутия)) // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Философия. 2011. Т. 9, № 1. С. 66-77.
7. Галямова Э.Ф., Орфей К.Г. Привлекательность российских вузов на международном рынке образовательных услуг // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2017. Т. 27, № 3. С. 21-26.
8. Ременцов А.Н., Кременецкая Л.С. Формирование социокультурной компетенции у иностранных учащихся из стран СНГ на этапе дополнительной довузовской подготовки // Агроинженерия. 2012. № 4-1 (55). С. 107-110.
9. Rogers C.R. Psychotherapy and personality change // Journal of Consulting Psychology. 1955. Т. 19. № 1. С. 77-78.
10. Белобрыкина О.А., Дроздова А.В. Социально-психологическая адаптация: проблемы измерения (на примере анализа методики К.Р. Роджерса и Р.Ф. Даймонд) // Вестник по педагогике и психологии Южной Сибири. 2021. № 3. С. 10-41.
11. Осницкий А. К. Определение характеристик социальной адаптации // Психология и школа. 2004. Т. 1, № 1. С. 43-56.

УДК 378.17  
DOI

## ПРОФИЛАКТИКА РОДИТЕЛЬСКОГО ВЫГОРАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ СТУДЕНТОВ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВУЗА

Кудашкина О.В., Фадеева О.В., Чаткина С.Н.

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический университет имени М.Е. Евсевьева»,  
Саранск, e-mail: kudashkinao@mail.ru, ofadeeva71@yandex.ru, sveta13ru@yandex.ru

Цель исследования – выявление уровня родительского выгорания у матерей-студенток, обучающихся в педагогическом вузе, и разработка системы заданий в рамках учебных дисциплин для профилактики родительского выгорания и сохранения психологического благополучия. Задачи исследования: выявление проявления родительского выгорания у матерей-студенток, обучающихся в педагогическом университете; определение влияния фактора «получение образование» на проявление родительского выгорания; проектирование программы профилактики и коррекции родительского выгорания относительно себя как родителей, так и относительно других родителей. Приводятся эмпирические данные, полученные у 56 студентов-матерей. Экспериментальные результаты позволили выделить две группы матерей: первая – невыгоревшие (с низким уровнем выгорания) и частично выгоревшие (со средним уровнем). В процессе исследования определены следующие направления работы: с первой группой – профилактика возникновения родительского выгорания, а со второй – коррекция уже имеющихся проявлений родительского выгорания. В связи с этим модифицировано содержательное наполнение и технологии проведения курсов «Психология семьи», «Психология детско-родительских отношений», а также разработана и апробируется дополнительная образовательная программа «Родительское выгорание: методы профилактики и коррекции», которая позволит повысить уровень общей осведомленности студентов как будущих родителей, предотвратить опасность родительского выгорания и сохранить психологическое здоровье.

**Ключевые слова:** родительское выгорание, психологическое благополучие, студенты, профилактика, методы профилактики и коррекции

*Научно-исследовательская работа выполнена в рамках гранта по сетевому взаимодействию вузов-партнеров по теме «Развитие психологического благополучия субъектов образовательной среды» (Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева и Мордовский государственный педагогический университет имени М. Е. Евсевьева).*

## PREVENTION OF PARENTAL BURNOUT AND PRESERVATION OF PSYCHOLOGICAL WELL-BEING OF STUDENTS OF PEDAGOGICAL UNIVERSITY

Kudashkina O.V., Fadeeva O.V., Chatkina S.N.

Mordovian State Pedagogical University, Saransk,  
e-mail: kudashkinao@mail.ru, ofadeeva71@yandex.ru, sveta13ru@yandex.ru

The purpose of the study is to identify the level of parental burnout among student mothers studying at a pedagogical university, and to develop a system of tasks within academic disciplines to prevent parental burnout and maintain psychological well-being. Objectives of the study: to identify the manifestations of parental burnout among student mothers studying at a pedagogical university; determining the influence of the factor «getting an education» on the manifestation of parental burnout; designing a program for the prevention and correction of parental burnout in relation to themselves, as parents, and in relation to other parents. Empirical data obtained from 56 student-mothers. The results obtained made it possible to identify two groups of mothers: the first – unburnt out (with a low level of burnout) and partially burnt out (with an average level). During the research, the following areas of work were identified: with the first group – prevention of the occurrence of parental burnout, and with the second – correction of existing manifestations of parental burnout. In this regard, the content and technologies for conducting the courses «Family Psychology» and «Psychology of Parent-Child Relations» have been modified, and an additional educational program «Parental burnout: methods of prevention and correction» has been developed and tested, which will increase the level of general awareness of students as future parents, prevent the danger of parental burnout and maintain psychological health.

**Keywords:** parental burnout, psychological well-being, students, prevention, methods of prevention and correction

*The research work was carried out within the framework of a grant for network interaction of partner universities on the topic of “Development of psychological well-being of subjects of the educational environment” (Chuvash State Pedagogical University named after I.Ya. Yakovlev and Mordovian State Pedagogical University named after M.E. Evseviev).*

### Введение

В соответствии с Указом Президента РФ В.В. Путина 2024 год объявлен Годом семьи. Сохранение семьи как основного социаль-

ного института является одной из главных задач современного российского общества. Поддержка и защита семьи, сохранение традиционных семейных ценностей является

основой государственной политики России. Однако статистические данные последних лет свидетельствуют об увеличении количества разводов. По официальной информации Мордовиястат на 01.06.2024 количество браков – 509, а разводов – 551 (прирост/снижение: -15). Мотивами разводов чаще всего выступают личные (несовпадение характеров, угасание чувств, несовместимость взглядов на дальнейшую жизнь, непримиримые противоречия, измены и др.), бытовые (вредные привычки, конфликты по планированию и распределению бюджета и др.), финансовые факторы и др.

Л.А. Грицай отмечает, что в современной России семья переживает кризис, который обнаруживается в первую очередь в сфере родительских позиций и родительских установок. Понемногу утрачиваются социальные связи между родителями и детьми, снижается важность родства и родительства [1]. Именно поэтому одной из активно обсуждаемых в психологических и социологических исследованиях является проблема взаимосвязи между родительством и психологическим благополучием личности [2–4].

Семья и семейное воспитание являются одним из центральных вопросов государственной политики РФ. Все же по-прежнему остается нерешенной проблема, связанная с психологической помощью и поддержкой родителей и членов семьи, несмотря на финансовую и социальную поддержку со стороны правительства. За последние годы психологи зафиксировали всплеск родительского выгорания. Чаще всего это наблюдается у матерей, занимающихся вопросами воспитания детей в семье. Выгоранию способствуют повышенные нагрузки, хроническая усталость, апатия, постоянная тревога, нарушение сна, что приводит к постепенному формированию у матери нервозности, неуравновешенности, конфликтности и озлобленности по отношению к ребенку. Это может сопровождаться нарастающим чувством вины, страха и разочарования в своей родительской роли, что приводит к снижению самооценки и безразличному отношению к выполнению родительских обязанностей. В связи с этим перед педагогами и психологами образовательных организаций, работающих с молодыми людьми, стоит актуальная задача своевременной психологической подготовки их к созданию семьи путем формирования представлений о семье и семейных ценностей, осознанному родительству и приобретению важных знаний, умений для создания и сохранения крепкой семьи.

Анализ имеющихся на сегодняшний день научных работ с учетом обозначенной проблемы позволил выделить исследование И.Н. Ефимовой, которая отметила, что выгорание у родителей формируется при нарушении выполнений ими функций воспитания и развития, приводящем к дисбалансу в сфере детско-родительских отношений. Отличительной особенностью проявления является преобладание негативных переживаний и неконструктивного, дисфункционального поведения при исполнении родительских обязанностей [5].

Феномен эмоционального выгорания матерей может обнаруживаться во внутренних противоречиях, которые проявляются в желании быть замечательной мамой и отсутствии положительных эмоций, удовлетворения от выполнения родительских функций; совмещении успешной профессиональной карьеры и материнства; стремлении самостоятельно осуществлять заботу о ребенке и неумении распределять внимание между членами семьи [6].

**Цель исследования** – выявление уровня родительского выгорания у матерей-студенток, обучающихся в педагогическом вузе, и разработка системы заданий в рамках учебных дисциплин для профилактики родительского выгорания и сохранения психологического благополучия.

**Задачи исследования:**

- 1) выявить проявления родительского выгорания у матерей-студенток, обучающихся в МГПУ им. М.Е. Евсевьева по направлению подготовки «Психолого-педагогическое образование профилям бакалавриата. Дошкольное образование», «Психология образования и магистратуры. Психологическое сопровождение личности в образовании»;
- 2) определить влияние фактора «получение образования» на проявление родительского выгорания;
- 3) разработать программы профилактики родительского выгорания и сохранения психологического благополучия относительно себя как родителей, так и относительно других родителей.

#### **Материалы и методы исследования**

Организация исследования осуществлялась с 2023 по 2024 г. в Мордовском государственном педагогическом университете (МГПУ) им. М.Е. Евсевьева. Общая выборка респондентов составила 56 матерей в возрасте от 22 до 45 лет с численностью детей от 1 до 5 чел. В исследовании был использован опросник «Родительское выгорание» И.Н. Ефимовой, с помощью которого можно определить наличие / отсутствие проявлений родительских деформаций.

## Распределение статистических данных

Симптомы	Эмоциональное истощение		Деперсонализация		Редукция родительских достижений	
	Общая выборка	Выборка МГПУ	Общая выборка	Выборка МГПУ	Общая выборка	Выборка МГПУ
Среднее арифметическое М	13,36	11,1	4,48	4,04	35,91	34,7
Стандартное отклонение SD	8,16	7,8	3,25	3,0	5,46	5,22

Примечание: данные общей выборки (n = 305) отражены в исследовании И.Н. Ефимовой.

Опубликованные экспериментальные данные применения опросника И.Н. Ефимовой на выборке из 305 чел. использовались авторами как ориентировочные нормы [5].

Диагностика проводилась добровольно, анонимно, онлайн. В опросник включены вопросы о возрасте респондентов и количестве детей в семье.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования обрабатывались с использованием методов описательной статистики. Для анализа данных использовалась программа SPSS Statistics 26. Распределение статистических данных представлено в таблице.

Результаты по шкалам опросника «Родительское выгорание» соответствуют средним показателям. По всем трем шкалам средние значения немного смещены к низким показателям (шкала «Редукция родительских достижений» инвертирована – высокие результаты означают низкую редукцию, и наоборот). В исследуемой выборке средние показатели родительского выгорания по всем трем шкалам приближены к аналогичным, представленным в исследовании И.Н. Ефимовой [5].

Первая группа матерей-студенток, у которых отсутствует выраженность родительского выгорания, составляет большую часть выборки – 55% (31 чел. от выборки). Данные по шкале «Эмоциональное истощение» находятся в диапазоне низких значений (от 7 до 11 баллов). По шкале «Деперсонализация» отмечается интервал от 1 до 5 баллов, что свидетельствует о низком уровне проявлений выгорания. По шкале «Редукция родительских достижений» у данных респондентов оценка действий, связанных с заботой о детях, находится в диапазоне от 30 баллов и меньше, что достигает максимальных значений. Это свидетельствует о том, что матери адекватно оценивают свою родительскую позицию, принимают ее со всеми недостатками, не стремятся к принятию позиции идеальной матери

и, следовательно, меньше расположены к родительскому выгоранию.

Вторая группа матерей-студенток имеет средний уровень родительского выгорания – 45% (25 чел.). Эта группа матерей представлена большим разнообразием вариативности показателей. Так, например, у одной из матерей отмечены низкие уровни по шкалам «Эмоциональное истощение» и «Редукция родительских достижений», а по шкале «Деперсонализация» отмечается средний уровень. Это обусловлено, прежде всего, высокой оценкой проявления внимания и заботы к ребенку.

Также в данной выборке есть категория матерей-студенток (4 чел.), у которых отмечается высокий уровень эмоционального истощения (у одной из них 43 балла) и деперсонализации. И в то же время низкий уровень редукции родительских достижений. Для таких матерей характерны проявления хронической усталости, сниженный фон настроения, спад работоспособности, сокращение времени во взаимодействии с ребенком, ослабление эмпатийной отзывчивости, проявление раздражения в адрес ребенка, утомленность от родительских обязанностей.

В исследуемой выборке есть мамы с тремя и более детьми (9 респондентов), у которых не обнаруживаются симптомы по фазам «сопротивление» и «истощение». Так, например, Анастасия Л., воспитывающая пятерых детей, отмечает, что научилась эффективно распределять свое внимание и обязанности в воспитании детей, что существенно упрощает выполнение родительских функций, тем самым снижая психологическую нагрузку и возможность выгорания. Связано это, на взгляд авторов, с определенными личностными свойствами респондента.

Таким образом, в результате исследования выделили две группы матерей-студенток. Первая – невыгоревшие (с низким уровнем выгорания) и частично выгоревшие (со средним уровнем – сформировавшимся частично по отдельным симптомам).

Также в ходе исследования поставлена задача – выявить факторы, которые препят-

ствуют сохранению психологического благополучия мам-студенток, занимающихся воспитанием детей.

Широкий обзор различных аспектов родительского выгорания, в том числе системобразующих факторов, представлен в исследовании Х. Рен, Ю. Цай, Дж. Ван [7]. Они отмечают, что родительское выгорание тесно взаимосвязано с четырьмя группами факторов, такими как микросистемно-индивидуальные, мезосистемно-межличностные, экосистемно-организационные и макросистемно-общественные факторы. Анализируя перечисленные факторы, авторы статьи добавляют еще один, актуальность которого обусловлена совмещением статусов студента и матери – «получение образования», то есть участие матерей в статусе студентов при получении высшего образования. Авторы предполагают, что этот фактор будет в рядоположном ряду других факторов, которые постепенно приводят к родительскому выгоранию. Так как обучение в вузе энергозатратно и требует большого времени, что приводит к усталости, повышенной раздражимости, умственной, физической и эмоциональной напряженности. Студентам была предложена анкета, содержащая ряд вопросов, направленных на определение преобладающих факторов, которые, по мнению студенток-матерей, являются весомыми в формировании родительского выгорания.

Проведенный однофакторный дисперсионный анализ выявил отрицательную корреляционную связь родительского выгорания с получением образования среди матерей-студенток. Ответы свидетельствуют о том, что посещение учебных занятий стимулирует их к самопознанию и саморазвитию не только в профессиональном плане, но и личностном; позволяет проводить рефлексию, разобраться с внутренними проблемами.

Таким образом, в исследуемой выборке матерей-студенток выявлены респонденты с низким уровнем и с частичными проявлениями родительского выгорания (в соотношении 55% и 45%). Следовательно, можно определить два направления работы: с первой группой – это профилактика возникновения родительского выгорания, а со второй – коррекция уже имеющихся проявлений родительского выгорания.

В рамках исследования тематики авторами определены два направления работы: первое – модифицировано содержательное наполнение и технологии проведения занятий по дисциплинам «Психология семьи» и «Психология детско-родительских отношений»; второе направление – разработана и внедряется дополнительная образовательная программа «Родительское

выгорание: методы профилактики и коррекции» для матерей-студенток и родителей, воспитывающих детей. Содержание курсов направлено на освоение и систематизацию психолого-педагогических знаний обучающихся в вопросах семейного воспитания и семейных отношений; понимания актуальных проблем и тенденций развития детско-родительских отношений; формирование готовности к профилактике родительского выгорания.

В рамках курса активно используются активные методы обучения, которые активизируют студентов к практической деятельности в процессе овладения учебным материалом. С этой целью используются метод групповой дискуссии («Семья. Современный взгляд»), «Семья и карьера: выбор современной молодежи» и др.), анализ конкретных ситуаций («Проблемная семья», «Семейные конфликты», «Проблемы отцов и детей», «Сиблинги в семье. Психологические проблемы» и др.), деловые игры («Все начинается с семьи...», «Семейный конфликт» и др.), психологические игры («Семейные Психикеты», «Приятные воспоминания» и др.), метод проектов (создание проектов по укреплению семьи и семейных ценностей «Счастливый дом», «Семейные традиции», «Благополучная семья – счастливые дети» и др.), элементы психотренинга, проективное рисование и др.

Все перечисленные методы формируют у студентов традиционные семейные ценности брака и родительства; учат идентифицировать неблагоприятные факторы, способствующие возникновению дисгармонии в супружеских или детско-родительских отношениях; способствуют профилактике родительского выгорания и др.

В рамках изучения курса «Психология детско-родительских отношений» рассматриваются аспекты, связанные с психологией родительства. Согласно с мнением ученых [8, 9], что родительство как новая социальная роль порождает новые мотивы и влечет за собой изменение смысловых образований и ценностных ориентаций личности. Часть родителей мотивированы к принятию этих изменений, другая часть испытывает трудности, так как требуется переосмысление и работа с собственным самосознанием. Но любая из этих категорий родителей будет оптимально готова к принятию роли родительства, если достаточно психологически подготовлена к ней. С этой целью при проведении занятий студентам предлагается ряд упражнений и заданий, связанных с оценкой себя как будущего родителя и как родителя состоявшегося, проведение анализа изменений, происшедших и происходящих в мотивах и ценностях с рождением детей.

Например, изучение модуля «Методы профилактики и коррекции детско-родительских отношений» способствует систематизации у студентов имеющихся представлений о понятиях «родительское выгорание» и «родительское благополучие»; рассмотрению причин родительского выгорания; освоению техник профилактики и коррекции родительского выгорания; овладению стратегий и тактик оказания психологической помощи родителям на разных стадиях их психоэмоционального истощения.

Также в процессе практических занятий используются арт-терапевтические упражнения преодоления родительского неблагополучия («Свободный рисунок в круге», «Картины», «Семья» и др.). Они развивают эмоциональную сферу, помогают справиться со стрессом и психоэмоциональным напряжением, подталкивают к самовыражению и рефлексии.

В процессе освоения дисциплины использовались элементы психологического тренинга (упражнение «Ответы про себя», «Модель распределения энергии», «План по восполнению ресурсов» и др.), которые позволяют распознать свои ощущения и чувства, восстановить эмоциональный баланс и внутренние ресурсы, помогают преодолеть трудные жизненные ситуации. Например, с помощью упражнения «Ответы про себя» обучающимся предлагают адресовать вопросы к себе. Как я себя ощущаю? Необходима ли помощь мне? Какая? Хочу ли я, чтобы меня и мое состояние заметили? Что поменялось с момента рождения ребенка? Кем я стала? Как я смогу помочь себе в этой ситуации?

В ходе подготовки к практическим занятиям студенты знакомятся с методикой развития позитивного мышления, которая позволяет нивелировать негативные модели мышления и поведения, развивать коммуникативные навыки.

Также в рамках психологического практикума организуется модифицированная игра-путеводитель по лабиринту родительского выгорания «Мама-дзен», которая направлена на систематизацию представлений о ролевых позициях матери (от «мамы-прапорщика» до «мамы-дзен»); учит распознавать симптомы родительского выгорания; позволяет снизить динамику истощения; устанавливать эффективную коммуникацию с родственниками, поддерживать свои психологические границы.

### Заключение

Резюмируя все вышеизложенное, сделаем вывод об актуальности проблемы ро-

дительского выгорания для современной семьи. Женщина сегодня является активным участником общественной жизни, поэтому рождение малыша, его воспитание и полная включенность во взаимодействие со своим ребенком влечет большие физические и эмоциональные нагрузки, что впоследствии может привести к родительскому выгоранию и снижению психологического благополучия. Данные экспериментального исследования, позволяют обосновать необходимость профилактики и коррекции родительского выгорания относительно себя как родителей, так и относительно других родителей. В связи с этим модификация содержания наполнения и технологий проведения курсов «Психология семьи», «Психология детско-родительских отношений» и внедрение дополнительной образовательной программы «Родительское выгорание: методы профилактики и коррекции» позволит повысить уровень общей осведомленности студентов и предотвратить опасность родительского выгорания.

### Список литературы

1. Грицай Л.А. Значение ценности родительства в контексте национальной культуры // Гуманитарные науки и образование. 2010. № 4 (4). С. 22–26.
2. Яшкова А.Н., Сыч А.С., Рашкина Е.А. Детско-родительские отношения и социально-психологическая адаптация дошкольников // Учебный эксперимент в образовании. 2021. № 2 (98). С. 7–13. DOI: 10.51609/2079-875X\_2021\_02\_07.
3. Шаповаленко И.В. Современное родительство: новые исследовательские подходы // Современная зарубежная психология. 2022. Т. 11, № 1. С. 58–67. DOI: 10.17759/jmfr.2022110106.
4. Фадеева Т.Ю. Психологические факторы родительского выгорания отцов и матерей // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Акмеология образования. Психология развития. 2021. Т. 10, № 4 (40). С. 334–343. DOI: 10.18500/2304-9790-2021-10-4-334-343.
5. Ефимова И.Н. Возможности исследования родительского «выгорания» // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Психологические науки. 2013. № 4. С. 31–40. URL: <https://www.psymgou.ru/jour/article/view/918> (дата обращения: 13.11.2024).
6. Филиппова Г.Г., Абдуллина С.А. Особенности внутрениней позиции родителя у детей младшего школьного возраста // Российский психологический журнал. 2016. Т. 13, № 3. С. 123–139. DOI: 10.21702/rpj.2016.3.8.
7. Xiaohe Ren, Yingying Cai, Jingyi Wang & Ou Chen A systematic review of parental burnout and related factors among parents // BMC Public Health. 2024. Vol. 24 (1). № 376. URL: [https://www.researchgate.net/publication/377980058\\_A\\_systematic\\_review\\_of\\_parental\\_burnout\\_and\\_related\\_factors\\_among\\_parents](https://www.researchgate.net/publication/377980058_A_systematic_review_of_parental_burnout_and_related_factors_among_parents). DOI: 10.1186/s12889-024-17829-y.
8. Захарова Е.И. Освоение родительской позиции как траектория возрастного-психологического развития в зрелом возрасте // Педагогическое образование в России. 2015. № 11. С. 151–156.
9. Савеньшева С.С., Разыграева Ю.С. Родительское выгорание, посттравматический рост и социальная поддержка матерей детей с ограниченными возможностями здоровья // Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология. 2024. Т. 14, № 1. С. 128–142. DOI: 10.21638/spbu16.2024.108.



УДК 378.147  
DOI

## ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ МЕНЕДЖЕРОВ

Мельникова Е.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: melena6921@mail.ru*

Цель исследования состоит в обосновании организационных и методических подходов к формированию проектных компетенций у студентов направления «Менеджмент» уровня бакалавриата и магистратуры в рамках аудиторной и внеаудиторной работы. Обобщен педагогический опыт автора в области использования проектных методик в преподавании управленческих дисциплин и организации самостоятельной работы будущих менеджеров. Методологической основой выступает компетентностный подход, методология проектного обучения, в обосновании необходимости развития проектных компетенций автор опирается на образовательные и профессиональные стандарты, а также концепцию «тройной спирали» как основу понимания роли образования и науки в развитии страны. В исследовании использованы: метод анализа научной литературы, методы опроса и анкетирования, метод учебных проектов, материалы психологического сопровождения проектной деятельности, метод исследования карьерной траектории выпускников, метод наблюдения и обобщения педагогического опыта. Период наблюдения охватывает 15 лет и разбит на 3 этапа. Показаны преимущества и проблемы организации проектной деятельности, предложена классификация проектов и рекомендации по их использованию в учебном процессе, представлена система принципов организации проектной деятельности в высшем образовании. Обоснована важность обеспечения результативности проектной деятельности обучающихся, создания для этого организационных условий как в рамках основной профессиональной образовательной программы, так и в рамках университета, а также направления развития проектных компетенций преподавателей.

**Ключевые слова:** компетентностный подход, проектная технология обучения, учебный проект, проектная компетентность, командная работа, проект

## ORGANIZATIONAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF PROJECT ACTIVITIES IN THE FORMATION OF PROFESSIONALLY SIGNIFICANT COMPETENCIES OF FUTURE MANAGERS

Melnikova E.V.

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk,  
e-mail: melena6921@mail.ru*

The purpose of the study is to justify organizational and methodological approaches to the formation of project competencies among students of the Bachelor's and Master's degree in Management in the framework of classroom and extracurricular work. The author's pedagogical experience in the field of using project methods in teaching management disciplines and organizing the independent work of future managers is summarized. The methodological basis is the competence approach, the methodology of project-based learning, in justifying the need for the development of project competencies, the author relies on educational and professional standards, as well as the concept of the "triple helix" as the basis for understanding the role of education and science in the development of the country. The research uses: the method of analyzing scientific literature, survey and questionnaire methods, the method of educational projects, materials for psychological support of project activities, the method of studying the career trajectory of graduates, the method of observation and generalization of pedagogical experience. The observation period covers 15 years and is divided into 3 stages. The advantages and problems of organizing project activities are shown, the classification of projects and recommendations for their use into educational process are proposed, and a system of principles for organizing project activities in higher education is presented. The importance of ensuring the effectiveness of students' project activities, creating organizational conditions for this both within the framework of the main professional educational program and within the university, as well as directions for the development of teachers' project competencies, is justified.

**Keywords:** competence-based approach, project-based learning technology, educational project, project competence, teamwork, project

### Введение

На рынке труда сложилась парадоксальная ситуация – при достаточно большой численности выпускников вузов управленческого профиля страна испытывает острый дефицит квалифицированных

управленческих кадров. Одной из причин является рассогласование между потребностями практики и традиционными технологиями подготовки менеджеров. Ожидать упрощения управленческих процессов под влиянием технологических изменений

не стоит [1, с. 6], а потому необходимо внедрение практико-ориентированных технологий обучения будущих управленцев с использованием проектных методик. Это позволит актуализировать навыки решения управленческих проблем и развить необходимые трансфессиональные компетенции [2]. Среди качеств менеджера, формируемых через проектное обучение, отметим ответственность; критичность, самостоятельность и креативность мышления; коммуникабельность; навыки работы в команде [3]; четкость целевых ориентиров.

В переходные моменты развития любой экономической системы значимость проектных компетенций резко возрастает, как возрастает и роль образования и науки в инновационном преобразовании экономики, согласно концепции «тройной спирали». Университеты призваны стать как источником кадров со сформированными проектными и передовыми профессиональными компетенциями, так и непосредственными участниками практико-ориентированных проектов преобразования структуры экономики регионов на современной технологической основе. В силу этого проектная компетентность как выпускников-менеджеров, так и преподавательского состава становится необходимым условием встраивания университетов в «тройную спираль» инновационного преобразования экономики. Именно такое понимание смыслового содержания проектного обучения должно стать мотивационной основой его внедрения и развития в вузах.

**Цель исследования** – обоснование организационных и методических подходов к формированию проектных компетенций у студентов направления «Менеджмент» в рамках аудиторной и внеаудиторной работы. В соответствии с целью определены задачи исследования: обобщить опыт реализации технологии проектного обучения и развития проектных компетенций будущих менеджеров и выявить преимущества и проблемы использования технологии; систематизировать представления о принципах реализации технологии проектного обучения и типах учебных проектов; рассмотреть модели формирования проектных групп и роль преподавателя в проектной деятельности.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве методологической основы исследования выступают компетентностный подход [4] и методология проектного обучения в их взаимосвязи, для обоснования содержания проектных компетенций и необходимости развития их у обучаю-

щихся по направлению «Менеджмент» проведен анализ содержания профессиональных, образовательных стандартов, международных стандартов оценки компетенций проектных менеджеров. На разных этапах исследования применялись методы анкетирования (опроса) обучающихся, преподавателей, выпускников, анализа научной литературы, проектная технология обучения, материалы, полученные в рамках психологического сопровождения проектной деятельности и оценки проектных компетенций, метод исследования портфолио и карьерной траектории выпускников, метод наблюдения и обобщения педагогического опыта. В данной статье рассмотрены результаты исследования организационно-методического характера.

Идея проектного обучения не нова. Уже в 1905 г. группа под руководством С.Т. Шацкого использовала проектные методы в практике преподавания, которые получили широкое распространение уже в советское время. Позже, с 1920-х гг., на основе идей Дж. Дьюи [5, с. 174–178] и В.Х. Килпатрика [6, с. 9] метод стал широко распространяться в США. В настоящее время накоплен значительный опыт в этой области [7], осознание значимости проектных компетенций привело к включению их в перечень универсальных компетенций для всех направлений и специальностей согласно ФГОС ВО 3++ (УК-2). Подходы к определению проектной деятельности в образовании многообразны, ученые выделяют технологический, прагматический, проблемный, системно-деятельностный, личностно-ориентированный, синергетический, компетентностный, средовой и интегральный [8], а также антропологический и аксиологический подходы [9]. Примечательно, что работы «отцов» менеджмента стали отправной точкой и в исследованиях проектной деятельности. Таким образом, целесообразность использования проектных методик преподавания управленческих дисциплин обусловлена как спецификой предметной области, так и компетентностной парадигмой обучения.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Исследование включало три этапа: накопление опыта руководства практико-ориентированными студенческими проектами в рамках программы «Малая Родина» Сибирского федерального округа по заказу муниципальных образований Красноярского края с представлением результатов на конкурсах субфедерального и федерального уровней (2009–2013 гг.); формирование и апробация методики проектного

обучения при преподавании дисциплин управленческого блока и формировании ОПОП (2014–2019 гг.) с использованием компетенций, полученных при обучении по программе «Молодежный инновационный прорыв» (Красноярский краевой инновационный бизнес-инкубатор); реализация методики и обобщение ее результатов на основе исследования динамики развития проектных компетенций среди обучающихся 2018 и 2019 гг. набора с отслеживанием последующих карьерных траекторий (2018–2024 гг.). Значительная длительность, этапность и эволюционный характер исследования позволили «примирить» указанные выше подходы, реализуя их на разных этапах и для решения различных задач исследования (табл. 1).

Обобщая опыт использования проектных методов преподавания, отметим преимущества проектного обучения для подготовки менеджеров: развитие проектного воображения, мышления, способа действий; преобразование академических знаний в профессиональный опыт; адаптация к быстро изменяющимся условиям информационной среды; «обучение действием»; практикоориентированность; развитие у студентов адекватной самооценки, информационной и коммуникативной компетентности; вовлечение преподавателя не столько как носителя знаний, сколько как участника проектной команды, как наставника студентов в процессе принятия ими самостоятель-

ных управленческих решений. Подчеркнем, что проектное обучение снижает зависимость студентов от преподавателя, способствует достижению командных эффектов и развитию управленческих компетенций.

На взгляд автора, практикоориентированность и целенаправленность увязывают проектную методику преподавания с традиционной в управлении пониманием проекта как целенаправленного изменения системы или процесса с четкими требованиями к качеству результатов, ограниченное во времени и ресурсах, со специфической организацией его выполнения. При использовании проектной методики преподавания управленческих дисциплин важно разграничить понятия учебного проекта и проекта как способа решения управленческой проблемы, достижения инновационных и/или инвестиционных целей. Важно различать эти понятия с дидактических позиций, ведь учебные проекты с точки зрения организации и результатов могут иметь значимую креативную составляющую, что зачастую и формирует должную мотивацию участников проекта.

В рассмотренной ниже классификации учебных проектов лишь последний тип соответствует традиционному управленческому пониманию проекта. Тем не менее каждый из пяти типов проектов может быть встроен в учебный процесс, иметь свои области применения, ограничения и способствовать достижению ряда учебных целей.

Таблица 1

Используемые подходы и результаты исследования

Этапы исследования	Подходы к пониманию проектной деятельности	Практические результаты	Методические результаты
1. Накопление опыта	прагматический, технологический, проблемный	выполнение проектов для внешних заказчиков, монетизация проектов, победы в конкурсах, обмен опытом, идея магистерской программы	преимущества, принципы и проблемы организации проектной деятельности, приемы мотивации и командообразования
2. Разработка методики	системно-деятельностный, технологический, проблемный, компетентностный	организация конкурсов проектов, массовость участия в проектной деятельности, привлечение бизнеса к постановке проблемы и реализации проекта, магистерская подготовка с проектной компонентой	встраивание в учебный план дисциплин и модулей с проектной работой, целостная модель формирования проектных компетенций, организация сквозных междисциплинарных проектов, классификация учебных проектов
3. Обобщение результатов	лично-ориентированный, средовой, интегральный	студенческие стартапы, пред-университарий «Технологическое предпринимательство», конкурсы проектов, в том числе для школьников	методика формирования команды проекта, методика динамической оценки проектных компетенций

В исследовательских проектах необходимо продумать структуру, четко обозначить цели и источники информации, ожидаемые результаты, обосновать актуальность, предмет и методы исследования, выдвинуть гипотезу. Этот тип проектов автор реализует в курсовом проектировании по управленческим дисциплинам и при выполнении дипломной работы.

В творческих проектах невозможно детально проработать структуру совместной деятельности участников, при этом необходимо соответствующее оформление. Ограничения креативности – минимальные. Такие проекты могут предлагаться студентам на практических занятиях. Например, в дисциплине «Стратегический менеджмент» предлагается задание по разработке концепции стартапа и миссии организации. В рамках самостоятельной работы предусмотрено участие студентов в конкурсе плакатов, видеокейсов, презентаций и других мероприятиях творческого характера.

В ролево-игровых проектах участники принимают на себя определенные роли, в зависимости от характера и содержания проекта, с учетом решаемой проблемы. Именно принятые роли ограничивают творчество участников. Такие проекты могут быть встроены в регламент деловой игры, проводимой со значительной долей само-

стоятельной работы. Одной из известных технологий подготовки менеджеров с ролевой компонентой являются управленческие поединки, предложенные В. Тарасовым [10, с. 150–172], которые на протяжении ряда лет проводились в рамках Регионального чемпионата по менеджменту и маркетингу с привлечением представителей Федерации управленческой борьбы.

Информационные проекты направлены на сбор информации о каком-либо объекте, от участников требуется ознакомиться с информацией, провести ее верификацию, анализ, обобщение фактов. Важно избежать «герменевтического круга» и обеспечить разнообразие применяемых методов. Особенно полезны такие проекты в курсовом проектировании по экономическим дисциплинам.

Практико-ориентированные проекты выполняются по заказу работодателей и имеют четко обозначенный ожидаемый результат, получаемый при согласовании интересов и возможностей участников и заказчиков. Именно для таких проектов особенно характерны вариативность и междисциплинарный характер. Как правило, они выполняются студентами в рамках самостоятельной работы. Опыт руководства практико-ориентированными проектами позволил выделить ряд принципов работы (табл. 2).

Таблица 2

## Принципы работы над практико-ориентированными проектами

Принципы	Содержание принципа
коммуникативности	общение при работе над проектом обеспечивает личностное и мотивированное отношение к проблематике проекта, помогает распределить роли в проекте
ситуативности	«проживание» реальной проблемы, возможность перераспределения ролей в проекте, корректировки задач, этапов, методов решения задач и достижения целей
проблемности	запуск проекта невозможен без выявления и осознания проблемы, проблематизация проекта позволяет в дальнейшем оценить его успешность; нет четко сформулированной проблемы – нет проекта
межфункциональности	реальные управленческие проблемы междисциплинарны и требуют интеграции знаний и умений из различных областей, объединения логических и творческих навыков участников проектной группы.
автономности	необходимость самоорганизации и самообучения, относительная автономность проектной группы, что позволяет обеспечить должный уровень ответственности и мотивации, как к выполнению проекта, так и к обучению
соревновательности	здоровая конкуренция существенно повышает мотивацию студентов к саморазвитию, обучению, завершению проекта; внутригрупповая конкуренция зависит от состава группы, разнообразия соционических типов, а межгрупповая моделируется организационными мерами и/или преподавателем
результативности	четкое понимание цели проекта и способах его представления уже на старте
осознанной рефлексии	представление проектов на конкурсных мероприятиях, внешняя оценка, обратная связь и практические результаты воодушевляют группу, повышают самооценку студентов

Особенно сложно обеспечить результативность проектной работы. Важно уже при формировании группы иметь представление о конечном результате, для каких целей, конкурсов и какого заказчика разрабатывается проект. В этом случае каждый этап выполнения проекта будет наполнен смыслом. Автор придерживался классических этапов [11], дважды удалось обеспечить преемственность проектов, превратив линейный процесс в цикл, когда идеи новых проектов высказывались самими студентами и нашли поддержку.

Опыт использования метода проектов в обучении будущих менеджеров показал, что значимые результаты приобретаются только в групповых проектах. Формирование студенческих проектных групп может осуществляться в рамках следующих моделей:

А. Модель «Симпатия» – группа формируется самостоятельно студентами, исходя из индивидуальных интересов, предпочтений, симпатий.

Б. Модель «Ролевое поведение» – группа формируется преподавателем по результатам социометрии и тестов распределения ролей в группе (возможен переход участников в другую группу с обязательным учетом результатов тестов).

В. Модель «Идея проекта» – группа образуется вокруг лидера – инициатора проекта, обладающего доступом к информации по объекту исследования и/или сформировавшему идею проекта (преподаватель рекомендует остальным студентам вступить в ту или иную группу, руководствуясь способностями студента и его интересом к теме/идее проекта).

Выбор модели зависит от характеристик учебной группы, в том числе от наличия студентов с явными задатками лидера. Без вмешательства преподавателя в формирование состава команды преобладают группы, сформированные по модели «Симпатия» (75–80% в разные годы). Сформирована методическая база для создания проектных групп на основе ролевой модели с проведением акмеологического тестирования [12], с использованием опыта командообразования краевого молодежного проекта «Инновационный прорыв», что позволило довести долю модели ролевого поведения до 55–60%.

Серьезной проблемой на старте проекта является вовлеченность студентов в проектную работу, так как не хватает лидеров. По той же причине не удается сформировать проектную группу вокруг идеи проекта. Вовлеченность студента в проект может дифференцироваться от базового, исполнительского уровня до уровня постановщика проблем, целей, разработчика

методов проектной работы и далее – до организатора проекта.

Наблюдается нарастание степени вовлеченности по мере получения первых результатов. Обычно на практико-ориентированный проект уходит 4–6 месяцев, есть примеры удачных и по результатам, и по мотивации студентов проектов, когда удавалось выполнить проект за 1–1,5 месяца. Если же проект готовится в условиях цейтнота, на постепенное вхождение в работу времени нет, потому группа должна быть больше по составу (до 10–12 чел.) и преподавателю приходится нести дополнительную нагрузку организационного характера и непосредственно участвовать в проектировании. Элемент соревновательности в сочетании с ограничением по времени стимулирует выделение лидера. В обычных условиях, когда времени достаточно, оптимальный состав группы – 3–4 чел.

Роль организатора проекта предъявляет ряд требований к личности студента-лидера, которым соответствуют далеко не все студенты (7–22% по нашим данным). К обязательным требованиям следует отнести: коммуникабельность; ответственность; лидерские качества, ориентацию на результат; аналитичность мышления; решительность; организованность, работоспособность, гибкость; соблюдение этических принципов; стрессоустойчивость. Все эти качества проявляются только при правильном распределении ролей, высокой мотивации к выполнению проекта. Мотивация формируется уже на этапе выявления проблемной области проекта. Гарантированно успешным будет лишь тот проект, идея которого соответствует логике «значимость – понятность – интерес». Если это не удалось группе, требуется очень большая работа преподавателя по выбору интересной и «посильной» проблемы проекта для команды. Значимость решения проблемы мотивации, как ключевой, подчеркивается в ряде работ [13] и подтверждается статистикой успешности проектов: цели проектов полностью достигались, если самооценка мотивированности членов группы на старте была не ниже 4,2 (из 5) баллов, а мотив работы на оценку преобладал не более чем у одного члена команды из 3–4 чел.

Управленческая проблема может быть сгенерирована студентами, предложена заказчиком или выбрана проектной группой из тематики, предложенной преподавателем. Опыт показывает, что высокая мотивация студентов всегда сопровождает инициативные проекты, а таковых всегда немного. Тем не менее на старте проекта у группы должна быть возможность самостоятельного выбора

темы, в том числе из своеобразного «банка идей». Наличие заказчика повышает мотивированность на старте до 4,8 (из 5) баллов и влияет на структуру мотивов в пользу профессионально значимых.

Несмотря на популярность метода проектов в современных условиях, его реализация представляет определенную сложность для преподавателей. Необходима как адаптация метода к специфике предметной области, так и повышение педагогической компетентности в направлении осознания специфики проектных технологий обучения. Хотелось бы привести типовые ошибки преподавателей, выявленные при организации проектной работы:

1. Преподаватель навязывает тему проекта или управленческую проблему вместо того, чтобы создать условия для ее выявления или предложить перечень тем проектов, предоставляя команде возможность выбора; предлагает свои идеи вместо того, чтобы побуждать студентов к поиску; подменяет проект выполнением задания, интересного самому преподавателю, а не студентам.

2. Преподаватель старается не допустить возникновения споров, приводящих к конфликту внутри группы. Важно, чтобы у преподавателя было выработано спокойное отношение к конфликтам в группе, как к рабочему моменту. Раннее вмешательство преподавателя в спор может не позволить группе самостоятельно принять решение.

Отметим проблемы, с которыми сталкивались преподаватели в процессе организации проектной деятельности: низкая мотивация на старте, непонимание значимости проектной работы; конфликты при распределении задач и при дальнейшей работе над проектом; неравноценность вклада участников в достижение цели проекта; несамостоятельность проектной группы, отсутствие лидера; формализм, низкая вовлеченность участников, работа «на оценку», потеря цели и угасание интереса к проектированию; отсутствие реальной командной работы, перекалывание функций на преподавателя. Поддержка преподавателей состояла в проведении методических семинаров, обучении технологиям командообразования, организации помощи со стороны психологов. Популяризации проектной деятельности на кафедре способствовала и организация конкурсных мероприятий для представления результатов проектной деятельности, обобщение успешного опыта выпускников в предпринимательской сфере, обратная связь от них.

Соблюдение ряда методических рекомендаций, сформированных на втором этапе исследования на выпускающей кафедре,

вместе с проектной средой [14], позволяет преодолеть или предотвратить значительную часть названных проблем и тем самым повысить педагогическую эффективность проектной работы. Перед преподавателем стоит задача не только мотивации студентов к самостоятельному приобретению знаний, но и привития навыка использования приобретенного опыта в дальнейшей учебной и практической деятельности. Одной из целей преподавателей должна стать популяризация среди студентов возможных эффектов от включения их в проектную работу, в том числе: осознание себя в будущей профессии; развитие способности организовать команду и работать в ней; развитие умения выявлять проблему, находить ее решение, вносить корректировки в условиях изменяющейся внешней среды; возможность решить проблему будущему трудоустройства; построение индивидуальной образовательной траектории; научные публикации, участие в конкурсах, конференциях; осознание своих достоинств и недостатков, раскрытие личностного потенциала; развитие профессионально значимых компетенций студента.

В оценке эффективности проектной деятельности нельзя не учитывать и педагогические эффекты от применения проектных методик и включения студентов разного уровня подготовки в получение знаний и их применение. Такие эффекты проявляются в развитии профессионально значимых личностных качеств, мотивации, рефлексии и самооценке, навыках принятия решений. Именно педагогические эффекты и являются той надцелью, к которой необходимо стремиться в рамках реализации компетентностной модели обучения. Ведь понятие проектной компетентности включает не только профессиональную составляющую, но и мотивационно-этическую, социальную, поведенческую [15], а значит, для ее формирования необходим собственный практический опыт выпускника.

### Заключение

Обобщая результаты ряда исследований и приобретенный опыт руководства проектами, выделим значимые с точки зрения профессиональных компетенций будущих менеджеров умения и навыки, развиваемые в проектной деятельности и сопровождаемые личной вовлеченностью. Наиболее ценными компетенциями с этих позиций являются: навык работы с информацией и знаниями в проекте; умение проводить критический анализ системы управления организацией и ее отдельных элементов; умение формулировать управленческую

проблему, цель проектирования и способность генерировать альтернативные варианты ее достижения; умение распределять роли в команде, находить свою роль; умение работать в команде и управлять конфликтами, преодолевать проблемы в командной работе; способность планировать и управлять проектом, с учетом ограничений; навык выделения критериев оценки проекта, формулирования значимых ограничений в реализации проекта; навык оформления и презентации содержания работы и результатов проекта; умение доказательно отстаивать свое мнение, результаты своей работы.

Проектная деятельность позволяет приобрести умения и навыки, ценные в контексте развития профессиональных и универсальных компетенций, для дальнейшего обучения, выполнения курсовых проектов и дипломной работы, последующей практической управленческой деятельности. Поскольку рост компетенций студентов происходит лишь тогда, когда они понимают, зачем им эти знания и умения нужны и чем они лично для них значимы, можно сделать вывод о безусловной значимости проектной деятельности в вузе. Участие в проектах способствует формированию у студентов значимых профессиональных и личностных качеств конкурентоспособного управленца.

#### Список литературы

1. Мельникова Е.В., Безруких Ю.А. Управленческие инновации и трансформация профиля компетенций в информационно-сетевой экономике. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. 187 с.
2. Степанов А.А., Савина М.В., Антонова Л.И. Формирование трансфессиональных компетенций участников проектных команд (вопросы теории) // Креативная экономика. 2023. Т. 17, № 11. С. 4131–4140.
3. Липатова С.Д., Хохолева Е.А. Технология формирования навыков командной работы в условиях проектного обучения студентов вуза // Вестник Самарского государственного технического университета. 2021. Т. 18, № 1. С. 57–70.
4. Яркова С.А., Мельникова Е.В., Якимова Л.Д., Лубнин А.О. Оценка реализации целевой модели компетенций в условиях технологических изменений // Экономика, предпринимательство и право. 2022. Т. 12, № 8. С. 2295–2318.
5. Дьюи Дж. Демократия и образование / пер. с англ. М.: Педагогика пресс, 2000. 384 с.
6. Килпатрик В.Х. Основы метода. М. – Л.: Госиздат, 1928. 115 с.
7. Зайцев В.С. Метод проектов как современная технология обучения: историко-педагогический анализ // Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. 2017. № 6. С. 52–62.
8. Головина И.В., Папуткова Г.А., Медведева Т.Ю., Воинцев А.В., Демидова Н.Н. Становление теоретико-методологических подходов к организации проектной деятельности в образовании // Гуманитарные исследования Центральной России. 2024. № 2 (31). С. 46–53.
9. Суегина Н.М., Темзоков А.К. Реализация технологии проектного обучения в образовательном процессе вуза // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2020. № 1 (44). С. 103–112.
10. Тарасов В.К. Искусство управленческой борьбы. Технологии перехвата и удержания управления. М.: Добрая книга, 2024. 544 с.
11. Гладкова М.Н., Ваганова О.И., Смирнова Ж.В. Технология проектного обучения в профессиональном образовании // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 58–3. С. 80–83.
12. Евдокимов И.В., Еливанов А.С., Краснов И.З., Носарев К.А. Аспекты формирования малых проектных групп программных проектов на основе сетевой диаграммы проекта с учетом акмеолого-компетентностного подхода // Информатика и образование. 2018. № 8 (297). С. 33–42.
13. Трищенко Д.А. О мотивации использования метода проектного обучения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Философия. Психология. Педагогика. 2021. Т. 21, Вып. 3. С. 349–353.
14. Мизюрова Э.Ю. Проблема организации совместной деятельности обучающихся в проектных технологиях // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 7 (209). С. 266–271.
15. Пикалова А.А., Шершнева В.А. Развитие проектной компетентности будущих бакалавров инженерных направлений подготовки на основе интеграции учебной и внеучебной деятельности // Перспективы науки и образования. 2020. № 4 (46). С. 138–151.

УДК 37.035.6:378  
DOI

## ЭТНОПЕДАГОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ПАТРИОТИЧЕСКИХ ЦЕННОСТЕЙ СТУДЕНТОВ

<sup>1</sup>Палаткина Г.В., <sup>1</sup>Палаткин В.В., <sup>2</sup>Глебова А.П.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева»,  
Астрахань, e-mail: pal9@rambler.ru, vladimir\_palatkin@rambler.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Астрахань,  
e-mail: nastyaglebova\_1096@mail.ru

Цель исследования – изучение возможностей включения средств этнопедагогика в формирование патриотических ценностей студенческой молодежи, которая актуализирована приоритетным направлением внутренней государственной политики России. В исследовании приняли участие 100 студентов Астраханского государственного университета имени В.Н. Татищева и 150 студентов Астраханского государственного медицинского университета. В рамках исследования были применены теоретические и эмпирические методы исследования: анализ научных источников, анкетирование респондентов до и после их участия в этномероприятиях, ранжирование результатов, методы математической статистики для определения достоверности результатов, корреляционный анализ для исследования взаимосвязей между этнопедагогическими факторами и результатами воспитания. Делается вывод об эффективности применения этнопедагогических средств при формировании патриотических ценностей студентов и о необходимости образовательным организациям внедрять инновационные формы при реализации мероприятий с применением этнопедагогических средств, стимулируя их самостоятельную созидательную деятельность при изучении не только своей этнической культуры, но и других. Научная значимость данной статьи заключается в определении потенциала этнопедагогических средств в формировании патриотических ценностей студентов. Полученные результаты могут учитываться педагогическим составом высших учебных заведений в процессе формирования патриотических ценностей студентов.

**Ключевые слова:** формирование, этнопедагогика, этнопедагогические средства, патриотические ценности, студенты

*Публикация подготовлена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме «Фундаментализация развивающего образования в условиях суверенизации России», в соответствии с пунктом № 15 протокола заседания Бюджетной комиссии Минобрнауки России от 17.05.2024 № 12.*

## ETHNOPEDAGOGICAL MEANS OF FORMING PATRIOTIC VALUES OF STUDENTS

<sup>1</sup>Palatkina G.V., <sup>1</sup>Palatkin V.V., <sup>2</sup>Glebova A.P.

<sup>1</sup>Astrakhan State University named after V.N. Tatischev, Astrakhan,  
e-mail: pal9@rambler.ru, vladimir\_palatkin@rambler.ru;

<sup>2</sup>Astrakhan State Medical University of the Ministry of Health  
of the Russian Federation, Astrakhan, e-mail: nastyaglebova\_1096@mail.ru

The purpose of the article is to explore the possibilities of including the means of ethnopedagogy in the formation of patriotic values of student youth, which is actualized by the priority direction of the internal state policy of Russia. The research involved 100 students of Astrakhan State University named after V. N. Tatischev and 150 students of Astrakhan State Medical University. Theoretical and empirical research methods were applied in the research: analysis of scientific sources, questioning of respondents before and after their participation in ethnomerch events, ranking of results, methods of mathematical statistics to determine the reliability of results, correlation analysis to study the relationship between ethnopedagogic factors and educational outcomes. The conclusion is made about the effectiveness of the use of ethnopedagogical means in the formation of patriotic values of students and about the need for educational organizations to introduce innovative forms in the implementation of activities using ethnopedagogical means, stimulating their independent creative activity in the study of not only their ethnic culture, but also others. The scientific significance of this article lies in determining the potential of the means of ethnopedagogy in the formation of patriotic values of students. The results obtained can be taken into account by the teaching staff of higher educational institutions in the process of forming patriotic values among students.

**Keywords:** formation, ethnopedagogy, ethnopedagogic tools, patriotic values, students

*The publication was prepared within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic “Fundamentalization of developmental education in the context of the sovereignty of Russia”, in accordance with paragraph No. 15 of the minutes of the meeting of the Budget Commission of the Ministry of Education and Science of Russia dated 05/17/2024 No. 12.*



### Введение

Иметь активную гражданскую позицию могут только личности с высокой степенью развитости, а именно: способные к самоопределению, обладающие гуманными, духовными, творческими, профессиональными способностями, стремящиеся к постоянному развитию, самообразованию, неравнодушные, думающие, способные участвовать в социально значимых общественных мероприятиях. Степень сформированности гражданского самосознания молодежи влияет на способность рационально и ответственно подходить к выбору направления и формы социальной активности [1].

С целью соответствия современным реалиям «государство создает условия, способствующие всестороннему духовному, нравственному, интеллектуальному и физическому развитию детей, воспитанию в них патриотизма, гражданственности и уважения к старшим» [2].

В ежегодных Посланиях к Федеральному собранию президент России В.В. Путин систематически подчеркивает важность защиты и укрепления суверенитета, защиты нашей свободы, право на мирную и достойную жизнь, необходимость беречь связь поколений, традиций, верований [3].

Необходимо отметить, что масштабные изменения во многих областях жизни общества, произошедшие в последние десятилетия в России, привели к трансформации общепринятых ценностей. Наиболее уязвимой категорией общества в сложившейся ситуации оказалась именно молодежь. Это обусловлено тем, что молодежь – особая возрастная категория, характеризующаяся повышенной восприимчивостью к внешним влияниям, формированием собственных ценностей и взглядов на мир.

У студенческой молодежи, в отличие от рабочей молодежи, в возрасте преимущественно с 17 до 25 лет происходит активное познание себя и своего места в обществе, осознание собственных целей и стремлений, поиска собственной идентичности и определения жизненных. Студенты являются учащимися высших учебных заведений, что требует от них определенного уровня интеллектуальной и творческой подготовки, а также способности к самообразованию и критическому мышлению.

Этот период жизни становится наиболее значимым для формирования моральных и культурных основ личности, освоения всех аспектов социальных ролей взрослого человека, включая гражданские, общественно-политические и профессионально-трудовые функции. Студенты явля-

ются членами студенческой среды, которая характеризуется определенным уровнем социальной свободы, общения и взаимодействия с ровесниками, проявляя интерес к новым технологиям, музыке, моде и т.д.

Студенты находятся в постоянном движении и развитии, что требует от них определенного уровня адаптивности и способности к изменениям [4]. Кроме того, за счет своих уникальных качеств студенческая молодежь становится наиболее перспективной группой населения, на которую необходимо ориентироваться для достижения прогресса и развития страны и общества в целом [5].

Студенчество, как особая социальная группа, объединяет образованных молодых людей, основной целью которых является подготовка к различным сферам жизнедеятельности. Патриотически настроенная студенческая молодежь становится основой устойчивого развития общества, способной к созидательной деятельности и защите национальных интересов любого государства, которая проявляется и в его этнокультурной специфике. В связи с чем при формировании патриотических ценностей студенческой молодежи актуализируется значимость этнопедагогических средств, которые учитывают культурные особенности общества, создают комфортную и знакомую среду, позволяют использовать традиционные, апробированные в течение столетий способы педагогического воздействия, связывают теоретические и практические знания, помогают сохранить культурное наследие различных этнических групп, формировать толерантность и уважение к культурным различиям, национальную самобытность и культурную идентичность, используя творческий потенциал студентов. Этнокультурная идентичность формируется в результате этнокультурного образования [6].

Использование этнопедагогических средств способствует более эффективному взаимодействию с представителями разных культур, обеспечивая эффективность и результативность развития гармоничных межэтнических отношений, что важно для формирования патриотических ценностей студенческой молодежи, так как они:

- выступают живыми традициями, которые молодые люди могут увидеть, услышать, ощутить;
- обладают эмоциональностью, которая пробуждает у студентов гордость за страну, за ее историю и культуру, формируют чувство принадлежности своему народу;
- не ограничиваются только теоретическими знаниями, позволяя студентам активно участвовать в сохранении и развитии национальной культуры через народные ремесла,

участие в этнофестивалях, творческих проектах, связанных с национальной тематикой; – позволяют сформировать у студентов патриотические ценности, через развитие их творческих способностей, коммуникативных навыков, критического мышления [7].

Обеспечивая доступность и понятность, комплексный подход, эмоциональную заряженность и практическую применимость, этнопедагогические средства выступают эффективным и актуальным инструментом формирования патриотических ценностей у студенческой молодежи. Их использование позволяет создать действенную атмосферу для развития уважения к истории и культуре страны, любовь к малой родине, сохранение национальных традиций, готовности внести свой вклад в защиту ее суверенитета и процветание.

**Цель исследования** – определить эффективность этнопедагогических средств в формировании патриотических ценностей студенческой молодежи

#### Материалы и методы исследования

Исследование эффективности этнопедагогических средств в формировании патриотических ценностей студентов было проведено на базе Астраханского государственного университета им. В.Н. Татищева (100 студентов) и Астраханского государственного медицинского университета (150 студентов) посредством анкетирования.

Использовались количественный анализ результатов эксперимента (анкетирование, ранжирование) и методы математической статистики для определения достоверности результатов.

Анкетирование позволило определить степень осведомленности о знаниях студентов об этнических традициях, культурном коде этносов и отношении к ним, к их ценностям. Ранжирование дало возможность

определить инновации различных этнопедагогических средств. Методы математической статистики, в частности корреляционный анализ для исследования взаимосвязей между этнопедагогическими факторами и результатов воспитания.

С целью выявления эффективности этнопедагогических средств при формировании патриотических ценностей было проведено анкетирование респондентов до и после их участия в этномероприятиях (табл. 1, 2).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Многосторонний анализ эмпирических данных выявил значимые закономерности динамики влияния этномероприятий на формирование патриотических ценностей студенческой молодежи.

В результате анкетирования до проведения этномероприятий была получена следующая информация (рис. 1).

Анализируя данные результаты, можно сделать вывод о достаточно высоком уровне осознания респондентами необходимости знать, сохранять и изучать историю, традиции и обычаи своего народа. О желании участвовать в этномероприятии в качестве представителя своего этноса заявили 83 чел. (33,2%), у 116 чел. (46,4%) вопрос вызвал затруднение, а 51 чел. (20,4%) ответил отрицательно. На вопрос о влиянии этнопедагогических средств на формирование патриотических ценностей у студенческой молодежи положительно ответил 51 чел. (20,4%) от общего количества респондентов, а об участии в этномероприятиях, проводимых в университетах, положительно ответили только 34 чел. (13,6%), что свидетельствует об отсутствии у большинства студентов положительного опыта участия в патриотических мероприятиях этнической направленности.

Таблица 1

Анкета по выявлению исходного уровня восприятия патриотических ценностей студенческой молодежи

№ п/п	Вопрос	Ответ
1.	Как Вы считаете, важно ли современному человеку знать традиции, обычаи и историю своего народа?	Да Нет Затрудняюсь ответить
2.	Необходимо ли сохранять традиции?	
3.	Хотели бы Вы изучать историю народного искусства, традиций?	
4.	Хотели бы Вы участвовать в этномероприятии как представитель своего этноса?	
5.	Считаете ли Вы, что этнопедагогические средства могут быть полезны в формировании патриотических ценностей?	
6.	Участвуете ли Вы в этномероприятиях Университета?	

Таблица 2

Анкета по выявлению эффективности этнопедагогических средств в формировании патриотических ценностей студенческой молодежи

№ п/п	Вопрос	Ответ
1.	Ощущаете ли Вы свою принадлежность к определенному этносу?	Да Нет Затрудняюсь ответить
2.	Считаете ли Вы важной проблемой сохранение народной культуры?	
3.	Хотели бы Вы расширить свой круг знаний по истории народного искусства, традиций?	
4.	Гордитесь ли Вы традициями своего народа?	
5.	Участвуете ли Вы в этномероприятиях Университета?	
6.	Этномероприятия способствуют взаимопониманию студентов разных этносов?	
7.	Хотели бы Вы представить свою культуру на этномероприятии?	
8.	Как Вы считаете, в какой степени этномероприятия способствовали формированию Ваших патриотических ценностей?	1 – не способствовали, 5 – способствовали в значительной степени
9.	Какие конкретные патриотические ценности, по Вашему мнению, были развиты благодаря этномероприятиям? (перечислите)	
10.	Как Вы оцениваете свои знания о традициях народной педагогики?	1 – низкий уровень, 5 – высокий уровень
11.	Какие изменения в Вашем восприятии патриотических ценностей произошли после участия в таких мероприятиях? (опишите)	Краткое эссе

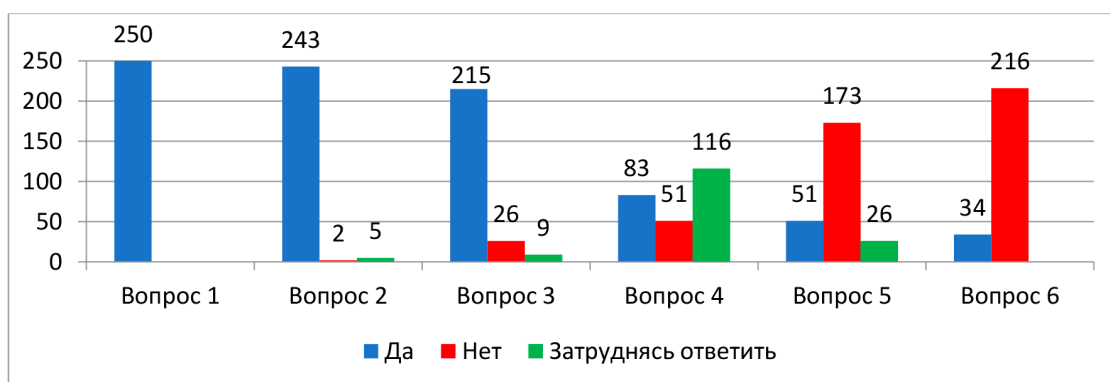


Рис. 1. Результаты исследования исходного уровня восприятия патриотических ценностей студенческой молодежи

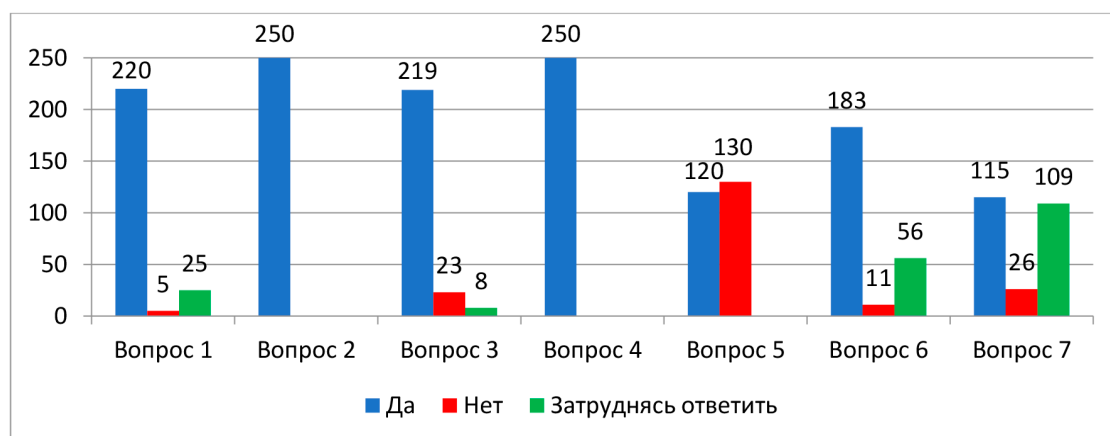


Рис. 2. Результаты исследования эффективности использования этнопедагогических средств в формировании мотивации к изучению этнокультуры

Кроме того, была выявлена низкая заинтересованность студентов в участии в этномероприятиях, способствующих формированию патриотических ценностей.

При исследовании эффективности использования этнопедагогических средств в формировании патриотических ценностей студентов после проведения этномероприятий была получена следующая информация (рис. 2).

Анализируя данные результаты, можно сделать вывод о достаточно высоком уровне осознания респондентами своей принадлежности к определенному этносу, проблемы сохранения народной культуры, гордости за традиции своего народа, стремления расширить круг знаний по истории народного искусства и традиций. Значительная часть опрошенных считает, что этномероприятия способствуют взаимопониманию студентов разных этносов.

Вызывает тревогу ситуация с ответами студентов на вопросы об участии в этномероприятиях Университета (48%) и желании представлять свою культуру на этномероприятии (46%). Этот факт наводит на мысль о необходимости развития у студентов социальной активности через использование этнопедагогических средств как основы интерактивных созидательных мероприятий, создающих пространство для реализации самостоятельной инициативы в организации патриотических мероприятий с этнической спецификой.

На вопрос о степени воздействия этномероприятий на формирование патриотических ценностей (9 вопрос), из 120 студентов, участвовавших в проведенных мероприятиях, значительное количество респондентов, а именно 112 чел. (93,3%), ответили

положительно, 8 чел. (6,67%) отметили, что данные мероприятия не повлияли на их патриотические взгляды (рис. 3).

Анализируя результаты ранжирования студентами патриотических ценностей после участия в этномероприятиях, можно отметить, что большое количество респондентов имеют размытые, фрагментарные представления о патриотических ценностях. При ответе на вопрос 9 значительная часть из 120 студентов, участвовавших в проведенных мероприятиях, а именно 74 чел. (61,7%), выбрали ответ «все вышеперечисленные» несмотря на то, что этномероприятия имеют конкретную тематическую направленность и не могут способствовать формированию сразу всех патриотических ценностей.

На вопрос об уровне знаний традиций народной педагогики (10 вопрос) большая часть студентов, а именно 152 чел. (60,8%), отметили высокий уровень своих знаний.

Анализ краткого эссе «Опишите, какие изменения в вашем восприятии патриотических ценностей произошли после участия в таких мероприятиях» (11 вопрос) продемонстрировал углубление и систематизацию изменений в восприятии патриотических ценностей, таких как национальная идентичность, потребность в изучении и сохранении своих национальных традиций и обычаев, чувство единения и взаимовыручки у 112 студентов (93,3%) от количества участвующих в этномероприятиях 6 студентов (5%) остались нейтральными. Данные мероприятия никак не повлияли на их патриотическую настроенность, а у двух студентов (1,7%) сложилось негативное отношение. Они считают, что данные мероприятия отнимают время и отвлекают от учебного процесса.



Рис. 3. Результаты исследования ранжирования студентами патриотических ценностей после участия в этномероприятиях

При корреляционном анализе результатов анкетирования применялся метод корреляции Пирсона. Была выявлена высокая и прямая связь между исходным уровнем патриотических ценностей и уровнем патриотических ценностей после участия респондентов в этномероприятиях по пяти основным параметрам: желание участвовать в этномероприятиях; желание представлять свою культуру на этномероприятиях; влияние этнопедагогических средств на формирование патриотических ценностей; значимость сохранения народных традиций; желание изучать культуру своего народа. Была выявлена положительная корреляция (стремящаяся к 1), коэффициент корреляции ( $r = 0,98$ ;  $p < 0,01$ ). Количество студентов с повышенным уровнем патриотизма увеличилось с 50,1 до 65,3%, с пониженным уровнем патриотизма снизилось с 37,4 до 23,5%,  $t$ -критерий Стьюдента равен 7,902. Критическое значение  $t$ -критерия Стьюдента при данном числе степеней свободы составляет 3,182.  $t_{\text{набл}} > t_{\text{крит}}$  зависимость признаков статистически значима ( $p = 0,015639$ ). Сравнение средних значений по  $F$ -критерию Фишера показало статистически достоверный прирост уровня патриотизма. Полученное эмпирическое значение  $F = 7,725$  находится в зоне значимости  $p < 0,01$ .

В исследовании была проанализирована зависимость результатов анкетирования студентов по итогам участия в этномероприятиях (переменная  $Y$ ) от исходного уровня восприятия патриотических ценностей (переменная  $X$ ). Для анализа использовали парную линейную регрессию, параметры которой оценивали методом наименьших квадратов. Уравнение регрессии имеет вид  $y = 0,666 \cdot x + 79,804$ . Статистическая значимость модели проверялась с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера, показав, что 95,42% вариации  $Y$  объясняется изменением  $X$ . Параметры модели оказались статистически значимыми, что позволяет сделать экономическую интерпретацию: при увеличении  $X$  на единицу  $Y$  возрастает в среднем на 0,666 единиц. Линейный коэффициент корреляции составил 0,977, указывая на высокую и прямую связь между переменными  $X$  и  $Y$ , подтвержденную статистически.

### Заключение

Проведенное исследование показало, что использование этнопедагогических средств значительно увеличивает уровень патриотизма у студенческой молодежи, чувство причастности к истории своего народа, к его традициям, обычаям, понимание ценности культурного наследия. Особое внима-

ние необходимо обратить на низкий уровень заинтересованности студентов участвовать в этномероприятиях и желании представлять свою культуру в данных мероприятиях.

В сложившейся ситуации образовательным организациям необходимо вести активную работу по повышению интереса и привлечения студентов к участию в данных мероприятиях.

Таким образом, можно сформулировать рекомендации для внедрения в практику с целью повышения эффективности этнопедагогических средств формирования патриотических ценностей у студенческой молодежи:

- интегрировать этнопедагогические средства в образовательные программы. Включать в учебный процесс изучение истории, традиций и обычаев разных народов. Организовывать тематические мероприятия;
- организовывать тематические центры, кружки, пространства;
- использовать инновационные технологии путем создания онлайн-ресурсов с информацией об этнопедагогических средствах;
- реализовывать мероприятия с использованием этнопедагогических средств совместно с представителями государственной власти, культуры и общественных организаций.

Оптимизация процесса повышения эффективности использования этнопедагогических средств в процессе формирования патриотических ценностей возможна только при совместной работе организаций, имеющих отношение к образовательно-воспитательной деятельности и поддержке на государственном уровне.

### Список литературы

1. Арендачук И.В. Характеристики психологической готовности к социальной активности как детерминанты разных форм ее проявления у российской студенческой молодежи в Саратовском регионе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика. 2021. Т. 18, № 1. С. 64–84. DOI: 10.22363/2313-16832021-18-1-64-84.
2. Конституция Российской Федерации от 12.12.1993 (с изм. и доп.) [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28399/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/) (дата обращения: 15.09.2024).
3. Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 29.02.2024 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_471111/?ysclid=1z6zcvrx2d92919718](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_471111/?ysclid=1z6zcvrx2d92919718) (дата обращения: 15.09.2024).
4. Яшкова А.Н., Рогулина П.А. Прокрастинация обучающихся школьного и студенческого возраста: сравнительный аспект // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 8. С. 213–218. DOI: 10.17513/snt.40138.
5. Романькова С.С. Студенческая молодежь как особая социально-демографическая категория // Наука, образование и культура. 2017. № 6 (21). С. 100–103.
6. Мещанова Л.Н., Козинская О.Ю. Формирование гражданской идентичности студентов // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 189–193. DOI: 10.17513/snt.38638
7. Айдарова Г.П. Воспитательный потенциал творческого наследия калмыцких писателей // Педагогический журнал. 2023. Т. 13, № 7А. С. 63–71. DOI: 10.34670/AR.2023.16.48.007.

УДК 378.1:37.03:37.013

DOI

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ): ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ

Парникова Т.А.

ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»,  
Якутск, e-mail: [tatyana-parnikov@mail.ru](mailto:tatyana-parnikov@mail.ru)

Цель исследования заключается в выявлении этнопсихологических, социальных и педагогических характеристик студентов вузов Республики Саха (Якутия) как определяющего фактора при формулировке педагогических условий в воспитательной деятельности вуза для результативной социализации выпускников бакалавриата. Выделение характеристик для изучения конкретного региона дает возможность более детально продемонстрировать как общие, на уровне страны, процессы и тенденции, так и особенности их проявления в данном регионе. Социально-экономическая уникальность этого региона помогает раскрыть его специфику и внести значимый вклад в развитие истории образования в данном контексте. Изучение научных трудов и публикаций авторитетных ученых региона позволило констатировать, что выявленная исследователями специфика этнопсихолого-педагогических и социальных характеристик студенческой молодежи, наряду с возрастными характеристиками современной молодежи, является определяющим фактором при формулировке педагогических условий для результативной социализации выпускников бакалавриата в воспитательной деятельности вуза. В статье обращается внимание на существенное обновление процесса социализации студентов бакалавриата, появление ранее неизвестных отклонений от модели социализации, связанных с неполноценностью процесса по причине существенных изменений в образовательных организациях, аморфности социокультурной среды, противоречивости ценностно-нормативных установок. Все это отражено в попытке выявить особенности воспитательной деятельности в профессиональном образовании в условиях модернизации высшего образования с учетом региональной специфики.

**Ключевые слова:** воспитательная деятельность, педагогические условия, этнопсихолого-педагогическая характеристика, студенчество, социализация, выпускник бакалавриата

## CHARACTERISTICS OF THE STUDENTS OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA): EDUCATIONAL ASPECT

Parnikova T.A.

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, e-mail: [tatyana-parnikov@mail.ru](mailto:tatyana-parnikov@mail.ru)

The purpose of the work is to identify the ethnopsychological, social and pedagogical characteristics of university students of the Republic of Sakha (Yakutia) as a determining factor in the formulation of pedagogical conditions in the educational activities of the university for the effective socialization of undergraduate graduates. The identification of characteristics for the study of a particular region makes it possible to demonstrate in more detail both general processes and trends at the country level, as well as the peculiarities of their manifestation in this region. The socio-economic uniqueness of this region helps to reveal its specifics and make a significant contribution to the development of the history of education in this context. The study of scientific works and publications of reputable scientists of the region allowed us to state that the specificity of ethnopsychological, pedagogical and social characteristics of student youth, identified by researchers, along with the age characteristics of modern youth, is a determining factor in the formulation of pedagogical conditions for the effective socialization of undergraduate graduates in the educational activities of the university. The article draws attention to the significant updating of the process of socialization of undergraduate students, the appearance of previously unknown deviations from the model of socialization associated with the inferiority of the process due to significant changes in educational organizations, the amorphous socio-cultural environment, the inconsistency of value-normative attitudes. All this is reflected in an attempt to identify the features of educational activities in vocational education in the context of modernization of higher education, taking into account regional specifics.

**Keywords:** educational activities, pedagogical conditions, students, ethnopsychological and pedagogical characteristics, socialization, bachelor's degree graduate

### Введение

Становление бакалавриата в системе высшего образования Российской Федерации является актуальной темой для научных исследований, поскольку этот уровень образования характеризуется как заметной трансформацией [1], так и множеством педагогических противоречий [2]. Анализ научных публикаций авторитетных ученых и исследователей различных областей наук за последнее десятилетие позволил выявить, что введение уровневого образо-

вания отразилось на повседневной практике студентов бакалавриата [3], готовности их к профессиональной деятельности [4], как следствие, их меньшей ориентированности на исследовательскую деятельность [5]. Отмечается существующая проблема востребованности выпускников бакалавриата на рынке труда [6], что, в свою очередь, привело к заметной дисфункции социальной активности выпускника бакалавриата [7]. В современном обществе сохраняется социальное противоречие между ожидае-

мыми и реальными результатами социального воспроизводства новых поколений, в частности между потребностями различных сфер общества в ежегодном пополнении человеческих ресурсов высококвалифицированными профессионалами и реальным состоянием потенциала выпускников российских вузов [8].

Региональная система образования имеет особенность и представляет собой социально-педагогический феномен, обеспечивающий, с одной стороны, сохранение и поддержку государственного и международного образовательного пространства, с другой – отображение экономических и социокультурных особенностей региона, гарантию народности и национального характера в контексте культуросообразности и природосообразности образования [9].

Территориальная специфика Республики Саха (Якутия), выделенной в отдельный субъект с особой государственной политикой, значимо влияет на социализацию выпускников бакалавриата. Идеалы и ценности традиционной культуры воспитания народа саха раскрываются через основы использования прогрессивного опыта прошлого в современной воспитательной практике, в том числе и вуза. Научные труды ученых в области социологии, психологии и педагогики создают необходимый и разносторонний методологический контекст для исследования проблемы результативной социализации выпускников бакалавриата на фоне затяжного экономического кризиса, значительных преобразований в социально-профессиональной структуре общества, реформы системы образования и растущих требований работодателей к личностным и профессиональным качествам молодых специалистов [10].

Таким образом, **целью исследования** стало выявление этнопсихологических, социальных и педагогических характеристик студентов вузов Республики Саха (Якутия) как определяющего фактора при формулировке педагогических условий в воспитательной деятельности вуза для достижения результативной социализации выпускников бакалавриата.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалами исследования выступают научные публикации, отраженные за период модернизационных процессов высшего образования в Российской научной электронной библиотеке (elibrary.ru), диссертации и монографии, нормативно-правовые документы, материалы конференций, затрагивающие ключевые вопросы по заявленной теме с использованием стандартных методов качественного анализа. Всего источников 25.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Республика Саха (Якутия) является одним из крупных регионов Российской Федерации, расположенным в северо-восточной части Сибири, общая площадь которого составляет 3103,2 тыс. км<sup>2</sup>. Регион характеризуется суровыми климатическими условиями, низкой плотностью населения и изолированностью, а также уникальной историей и культурой. Республика Саха (Якутия) вовлечена в сложные экономические, социальные и культурные процессы, которые, с одной стороны, обусловлены глобализацией рынков и технологий, а с другой – внутренними факторами, такими как рост индустриального сектора и урбанизация. Развитие республики осуществляется по четырем направлениям: сельским, арктическим, промышленным районам и городу Якутску. Важное место в социально-экономическом прогрессе занимает агропромышленный комплекс, который направлен на повышение доходов и занятости сельского населения. Однако развитие региона усложняется недостаточной транспортной инфраструктурой, что снижает доступность населенных пунктов.

Вместе с тем, по оценкам экспертов «в соответствии со Стратегией социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г., разработанной Правительством РФ, предполагается увеличение к 2025 г. ВВП Республики Саха (Якутия) почти в 8,5 раз в отношении к 2005 г. за счет реализации крупных проектов разворачивания ресурсодобывающих производств и транспортной инфраструктуры, которые, в свою очередь, будут определять, с одной стороны, индустриальное развитие республики, увеличение экономического потенциала и качество жизни населения, а с другой стороны, критическим образом изменять условия существования народов региона» [11].

В Республике Саха (Якутия) сосредоточены богатые природные ресурсы и разнообразие культур. Языковая политика является важнейшим аспектом, она направлена на поддержку и сохранение языков коренных народов и служит средством укрепления социальной сплоченности. Законодательно, как государственных, в республике закреплено функционирование русского и якутского языков; эвенкийский, эвенский, юкагирский, долганский, чукотский языки признаны официальными в местах компактного проживания коренных малочисленных народов Севера [12]. Специфика Республики Саха (Якутия) также связана с миграцией населения и особенностями жизни в арктиче-

ских улусах по сравнению с центральными или южными районами. По статистическим данным численность населения в Якутии на 1 января 2023 г. составила 997565 чел., при этом городское население составляет 670281, сельское – 327284. В Якутске, столице республики, проживают представители более ста различных национальностей, из них 59,2% – саха, 26,4% – русские [13].

Социально-экономическое развитие Республики Саха (Якутия) находится на пересечении традиционных отраслей и современных технологий. Инвестиции в инфраструктуру и образование играют ключевую роль в формировании конкурентоспособного региона. В Стратегии социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) до 2032 г. с целевым видением до 2050 г. в рамках стратегической цели № 1 «Высокий уровень жизни человека» определена цель № 1.6 «Якутия – территория с развитым рынком труда. Кадровое обеспечение потребностей экономики» [14].

Система образования в регионе, являясь социальным институтом общества, во многом отражает уровень развития сообщества и выполняет требования, которые оно к ней предъявляет, и представлена следующими вузами государственного статуса, которые участвуют в мониторинге Министерства образования и науки РФ: Северо-Восточный федеральный университет, Арктический государственный агротехнологический университет, Арктический государственный институт искусств и культуры, Высшая школа музыки Республики Саха (Якутия), Чурапчинский государственный институт физической культуры и спорта. Кроме указанных вузов на территории республики функционируют филиалы ведущих вузов Российской Федерации. Согласно информационно-аналитическим материалам в вузах республики обучаются 22734 студента, в том числе 15205 студентов бакалавриата [15]. Деятельность вузов республики свидетельствует, что в регионе создана и функционирует национальная система высшего образования, характеризующаяся разнообразием направлений подготовки специалистов. Осуществлен переход на ФГОС 3++ с интеграцией местных языков и культуру в учебные программы, что способствует сохранению уникального наследия. В 2021 г. в целях реализации единой государственной политики в сфере развития образования, ориентированной на формирование открытого образовательного пространства, обеспечивающего равные шансы на жизненный успех, конкурентоспособность человека в мировом пространстве Правительством Республики Саха (Якутия), утверждена государствен-

ная программа развития регионального образования на 2020–2024 гг. и на плановый период до 2026 г. [16]. Воспитательный процесс подкреплен Концепцией воспитания детей и молодежи в Республике Саха (Якутия) и является важной составляющей формирования гармонично развитой личности, способной уважать культурные особенности других народов и влиять на межнациональную гармонию в регионе [17].

Характерные особенности студенческой молодежи как представителей народа саха представлены в исследованиях ученых в области психологии, социологии, физиологии и педагогики.

Своеобразие психологии этноса, как отмечает А.В. Мордовская, «проявляется в уникальных национально-психологических чертах народа саха (якутов). Ученый эти особенности разделяет на категории: 1) мотивационно-фоновые: трудолюбие, честность, бескорыстие, привязанность к родным местам и активность в адаптации к различным условиям; 2) интеллектуально-познавательные: высокая восприимчивость к знаниям, любознательность, хорошая память и наблюдательность; 3) эмоционально-волевые: медлительность, сдержанность в выражении эмоций, относительно замедленная эмоциональная реакция и внутренняя уравновешенность; 4) коммуникативно-поведенческие: коллективизм, взаимопомощь и поддержка, прочные родственные связи, почитание предков, уважение к старшим и родителям, а также общительность» [18].

В целях установления взаимосвязи личностно-психологической принадлежности и этнических особенностей адаптации студентов к учебной деятельности в вузе учеными-физиологами Г.К. Степановой и М.В. Устиновой выявлено, что «у юношей-якутов высокая встречаемость амбивертов (58,7%) и интровертов (45,7%), низкий уровень нейротизма (56,5%) и высокая личностная тревожность (67,4%), что является показателем генофенотипически обусловленного механизма адаптации этносов-северян к экстремальным факторам среды, способствующего их приспособляемости к окружающей среде» [19], тем самым исследователи согласовали мнение А.П. Оконешниковой, что «самообладание, выдержка, сдержанность эмоций являются характерными социотипическими качествами якутов» [20].

О.Н. Птицына к числу характерных особенностей в студентах национальности саха относит «склонность к занижению своих способностей и возможностей в учебной деятельности, некоторую степень тревожности при довольно высоком уровне самоконтроля, которая может создавать впечат-



ление о них как о малоэмоциональных, нечувствительных, больше предпочитающих письменные виды работ, избегающих соревновательности на занятиях, внешне менее активных, труднее вызываемых на дискуссию, предпочитающих больше слушать, чем говорить» [21], А.Г. Корнилова отмечает «недостаточную сформированность волевых качеств, слабую социальную активность, неустойчивость ценностных ориентаций, недостаточно развитый внутренний самоконтроль, сохраняемость личностного уровня развития подростков» [22].

Социологические исследования интересов, жизненных установок и этнокультурных особенностей молодежи выявили изменения, происходящие в ценностно-мотивационной сфере студентов вузов в период реформирования системы высшего образования [23]. Отмечается, что молодежь Республики Саха (Якутия) существенно в меньшей степени, чем старшее поколение, ориентирована на воспроизводство национальной идентичности, культуры и языка, распространены установки «общества потребления». Отмечается тенденция все большей ориентации молодежи на индивидуализм, автономию, мобильность, ценностный релятивизм, возрастание миграционной мобильности молодежи, усиление риска утраты наиболее значимого и качественного компонента человеческого капитала – образованных, активных, мотивированных на достижения молодых людей [24]. Молодежь в сельских районах все чаще отказывается следовать трудовому пути своих родителей (0,7% и 0,4% соответственно). Исследователи связывают это с нарушением преемственности поколений, когда предыдущие поколения не могут передать свои материальные и духовные ценности. Подчеркивается, что процесс социализации молодежи усложняется из-за переосмысления традиций и ценностей. Если ранее молодежь опиралась на опыт старших, то в настоящее время они создают новый социальный опыт, полагаясь на собственные силы, что приводит к противоречивым тенденциям в их сознании и поведении [24].

Анализ научной литературы позволяет сделать выводы о действительном наличии специфических этнопсихолого-педагогических особенностей у студенческой молодежи высших учебных заведений в Республике Саха (Якутия). Студенты сталкиваются с двойной идентичностью: с одной стороны, они стремятся интегрироваться в современное общество, а с другой – сохранять свои культурные особенности.

Для эффективной интеграции студентов бакалавриата в образовательный процесс

и результативной социализации их после выпуска [25] важно принимать во внимание региональные и культурные особенности студенческой молодежи наравне с возрастными, социальными, психологическими характеристиками. Это потребует:

1. Структурирования воспитательной деятельности: программы воспитания должны быть адаптированы с учетом специфики региона и этнокультурных традиций. Важно разработать гибкие методики, позволяющие учитывать индивидуальные потребности студентов бакалавриата.

2. Обогащения содержания воспитания: включение в учебный процесс информации о местной культуре, традициях и языке может способствовать более глубокому пониманию студентами бакалавриата своих корней, что, в свою очередь, повысит их самооценку и уверенность при взаимодействии с более широким сообществом.

3. Разработки технологий воспитательной работы: использование современных технологий, таких как интерактивные формы обучения и онлайн-платформы, может помочь создать более привлекательные условия для студентов бакалавриата, обеспечивая при этом возможность обсуждать и изучать их культурные особенности.

4. Формирования культурной компетентности: важно создавать условия для диалога между различными культурами и этническими группами, что способствует социальной гармонии и взаимопониманию среди студентов бакалавриата.

5. Создания поддерживающей среды: вузы могут предоставлять менторскую поддержку, где студенты бакалавриата старших курсов или преподаватели могут делиться опытом интеграции, формируя у студентов бакалавриата первых курсов уверенность и понимание путей преодоления возникающих сложностей.

Таким образом, комплексный подход в воспитательной деятельности, учитывающий разнообразные факторы и особенности студентов бакалавриата, поможет не только в их интеграции, но и в формировании гармоничной, устойчивой личности, способной успешно адаптироваться к современным вызовам общества, сохраняя при этом свою культурную идентичность.

### Заключение

Республика Саха (Якутия) действительно является уникальным и динамично развивающимся регионом России, который сочетает в себе уникальную культуру, множество народов и богатые природные ресурсы. Этот край отличается своими обширными территориями и суровыми клима-

тическими условиями, тем не менее он стал центром образовательных и исследовательских инициатив, особенно в сфере высшего образования. Студенты имеют возможность участвовать в исследованиях и проектах, направленных на решение актуальных проблем региона, таких как изменение климата и его влияние на жизнь местного населения. Активное внедрение современных технологий в образование, например, использование дистанционного обучения и онлайн-курсов помогает студентам из удаленных и труднодоступных районов получать качественное образование. В аспекте социальной интеграции и поддержки студенческие объединения и инициативные группы активно участвуют в жизни университетов, создавая культурные проекты, спортивные мероприятия и научные конференции, что способствует развитию социокультурной среды, укреплению инклюзивной и дружелюбной атмосферы между студентами разных национальностей.

### Список литературы

1. Сенашенко В.С. О некоторых особенностях обновления системы высшего образования России // *Alma Mater (Вестник высшей школы)*. 2023. № 12. С. 9–15. DOI: 10.20339/AM.12-23.009.
2. Голованова Н.Ф. Педагогические противоречия модернизации высшего образования // *Alma mater (Вестник высшей школы)*. 2015. № 10. С. 5–8.
3. Евдокимова М.В. Влияние реформирования российской системы высшего образования на повседневные практики студентов // *Общество: социология, психология, педагогика*. 2019. № 10 (66). С. 32–37. DOI: 10.24158/spp.2019.10.3.
4. Двудичанская Н.Н., Фадеев Г.Н. Бакалавриат в техническом университете: проблемы и пути их решения // *Высшее образование в России*. 2018. Т. 27, № 3. С. 96–103.
5. Цапулина Ф.Х., Арланова О.И., Брусов А.Г., Васильева Т.Ю., Воскресенская Н.В., Матвеева О.Л., Мифтахутдинова А.М. Научно-исследовательская работа бакалавра // *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. № 12–4. С. 578–579.
6. Соловов А.А. Подготовка бакалавров: проблема востребованности выпускников на рынке труда // *Вестник Самарского университета. История, педагогика, филология*. 2016. № 3–1. С. 58–64.
7. Парникова Т.А., Гафурова Н.В. Влияние модернизации высшего образования в содержании ФГОС по направлению подготовки бакалавриата // *Обзор педагогических исследований*. 2022. Т. 4, № 4. С. 121–125.
8. Ковалева А.И. Проблемы социализации личности студента в вузе // *Знание. Понимание. Умение*. 2017. № 3. URL: <https://journals.mosgu.ru/zpu/article/view/534> (дата обращения: 07.06.2024).
9. Николаева А.Д., Чудиновских А.В. Региональное образование как научно-педагогическая категория // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 12–2. С. 392–396.
10. Гладкова И.А. Современные стратегии профессионального становления студенческой молодежи региона: автореф. дис. ... канд. социол. наук. Пенза, 2020. 24 с.
11. Республика Саха (Якутия) 2050 год. Форсайт-исследование / Под ред. Е.И. Михайловой, В.С. Ефимова. Якутск: Издательский дом Северо-Восточного федерального университета, 2014. 184 с.
12. Указ Главы Республики Саха (Якутия) от 19.07.2017 № 2029 «О внесении изменений в государственную программу Республики Саха (Якутия), утвержденную Указом Президента Республики Саха (Якутия) от 12 октября 2011 г. № 973 «О государственной программе Республики Саха (Якутия) «Развитие образования Республики Саха (Якутия) на 2012–2019 годы» [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/1400201707210005?index=5> (дата обращения: 07.06.2024).
13. Об итогах работы Саха(Якутия)стата в 2023 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://14.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B8%202023,%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%8B%202024.pdf> (дата обращения: 07.06.2024).
14. Закон Республики Саха (Якутия) от 19 декабря 2018 г. 2077-3 № 45-VI «О Стратегии социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) до 2032 года с целевым видением до 2050 года» [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/1400201812260001?index=1> (дата обращения: 07.06.2024).
15. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования 2023 года. [Электронный ресурс]. URL: [https://monitoring.miccedu.ru/iam/2023/\\_vpo/material.php?type=2&id=11107](https://monitoring.miccedu.ru/iam/2023/_vpo/material.php?type=2&id=11107) (дата обращения: 07.06.2024).
16. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 15.09.2021 № 353 «О государственной программе Республики Саха (Якутия) «Развитие образования Республики Саха (Якутия) на 2020–2024 годы и на плановый период до 2026 года «Государственная программа развития регионального образования на 2020–2024 годы и на плановый период до 2026 года» [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/1400202109230003> (дата обращения: 07.06.2024).
17. Приказ Министерства образования и науки Республики Саха (Якутия) от 4 марта 2021 г. № 01–03/298 «Об утверждении Концепции воспитания детей и молодежи в Республике Саха (Якутия)» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/401527120/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 07.06.2024).
18. Мордовская А.В. Этнопедагогические основы формирования жизненного и профессионального самоопределения старшеклассников (На примере Республики Саха (Якутия)): авторефер. дис. ... докт. пед. наук. Москва, 2000. 38 с.
19. Степанова Г.К., Устинова М.В. Вегетативная регуляция сердечного ритма у студентов-якутов с различным психофизиологическим статусом // *Экология человека*. 2020. № 10. С. 10–16. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-10-10-16.
20. Оконешникова А.П. Межэтническое восприятие и понимание людьми друг друга: автореф. дис. ... докт. психол. наук: Якутск, 1988. 32 с.
21. Птицына О.Н. Особенности самореализации якутских студентов в учебной деятельности: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Якутск, 1995. 22 с.
22. Корнилова А.Г. Социализация личности в образовательной системе. Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2018. С. 36. [Электронный ресурс]. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009804797> (дата обращения: 01.08.2024).
23. Борисова У.С. Ценностно-мотивационная сфера студентов вуза (на примере исследования студенческой молодежи Республики Саха (Якутия)) // *Общество: социология, психология, педагогика*. 2016. № 7. С. 16–21.
24. Егоров П.М. Молодежь Республики Саха (Якутия) в современных условиях: ценностные ориентации и социальное самочувствие (на материалах социологического исследования) // *Вестник КРСУ*. 2017. Т. 17, № 6. С. 92–96.
25. Парникова Т.А., Гафурова Н.В. Критерии оценки результативности социализации выпускников бакалавриата // *Современные наукоемкие технологии*. 2022. № 12–1. С. 180–184. DOI: 10.17513/snt.39458.

УДК 377.5:372.874  
DOI

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ РИСОВАНИЮ ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА ОБУЧАЮЩИХСЯ 8–9-ЛЕТНЕГО ВОЗРАСТА В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ШКОЛЕ

Полынская И.Н.

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет»,  
Барнаул, e-mail: julka-nv@mail.ru*

Цель работы: исследование предложенных методических рекомендаций, направленных на эффективное обучение рисованию фигуры человека обучающихся 8–9-летнего возраста в художественной школе. В статье даются теоретический, эмпирический анализы исследования, описываются основные тесты для оценки работ обучающихся, анализируются все этапы педагогического эксперимента, делаются выводы. Актуальность обусловлена современными требованиями к уровню развития и воспитания активной творческой личности, обладающей гуманистическими ценностями и мировоззренческими позициями, способной к творческому самовыражению и самореализации. В данной статье представлена систематизированная методика, позволяющая эффективно учить обучающихся, как в школе искусств, так и в общеобразовательной школе, изображению сложного объекта – человека. Учебные задания ориентированы на подробное изучение и анализ пластической анатомии, а также на активизацию творческого саморазвития личности школьника. Цель заключается в создании учебного набора специальных заданий и упражнений, который будет наиболее эффективным для обучения обучающихся 8–9 лет в художественной школе. Задачи исследования были направлены на улучшение методики для более эффективного обучения рисованию человека обучающихся школы искусств, обосновать оптимальные условия, способствующие развитию умений учащихся в изображении людей в сюжетно-тематических композициях. В результате анализа экспериментального исследования были получены высокие результаты, подтверждающие эффективность разработанного учебного набора специальных заданий и упражнений, методических рекомендаций, педагогических технологий, приемов и способов, целью которых является обучение детей художественной школы рисованию человеческой фигуры. В процессе исследования значительно улучшились умения и навыки изображения фигуры человека или группы людей обучающихся художественной школы 8–9-летнего возраста.

**Ключевые слова:** изображение, детский рисунок, обучение, фигура человека, учебно-воспитательный процесс, методика, изобразительное искусство, художественная школа

## STUDY OF THE METHODOLOGY OF TEACHING DRAWING OF THE HUMAN FIGURE TO 8–9-YEAR-OLD STUDENTS IN AN ART SCHOOL

Polynskaya I.N.

*Altai State Pedagogical University, Barnaul, e-mail: julka-nv@mail.ru*

The purpose of the work: study of the proposed methodological recommendations aimed at effective teaching of drawing of human figures to students aged 8–9 years in an art school. The article provides theoretical, empirical analysis of the study, describes the main tests for assessing the students' work, analyzes all stages of the pedagogical experiment, and draws conclusions. The relevance is due to modern requirements for the level of development and education of an active creative personality with humanistic values and ideological positions, capable of creative self-expression and self-realization. This article presents a systematic methodology that allows effectively teaching students, both in art schools and in comprehensive schools, to depict a complex object – a person. Educational tasks are focused on a detailed study and analysis of plastic anatomy, as well as on activating the creative self-development of the student's personality. The goal is to create an educational set of special tasks and exercises that will be most effective for teaching 8–9-year-old students in an art school. The objectives of the study were aimed at improving the methodology for more effective teaching of drawing a person to art school students, to substantiate the optimal conditions that contribute to the development of students' skills in depicting people in plot-thematic compositions. As a result of the analysis of the experimental study, high results were obtained confirming the effectiveness of the developed educational set of special tasks and exercises, methodological recommendations, pedagogical technologies, techniques and methods the purpose of which is to teach children of an art school to draw a human figure. During the study, the skills and abilities of 8–9-year-old art school students in depicting a human figure or a group of people significantly improved.

**Keywords:** image, children's drawing, training, human figure, educational process, methodology, fine art, art school

### Введение

Основная цель современного педагога в сфере дополнительного образования заключается в развитии у обучающихся навыков эффективного действия и успешной адаптации в условиях постоянно меняюще-

гося общества. Это вынуждает обдумать, как обеспечить эффективность учебного процесса, соответствующую требованиям современной жизни. Система художественного дополнительного образования нацелена на развитие творческих способностей,

расширение воображения, формирование индивидуального стиля в творчестве, освоение основ композиции, пропорций, объема, а также обучение навыкам изображения человеческой фигуры. Изучение данной проблемы и многолетний опыт педагогической работы в художественной школе позволяют свидетельствовать, что проблема обучения изображения фигуры человека обучающимися художественной школы остается открытой и требует дополнительного исследования.

Изображение человеческой фигуры является ключевой темой в изобразительном искусстве, поскольку человек, его деятельность всегда определяли социокультурное значение произведений искусства. Почти в каждой детской работе можно увидеть изображение человека: здесь и мама в праздничном наряде, и сестренка, и папа, и полубившиеся герои сказок. Тем не менее изображения людей в работах детей, как правило, бывают стандартными, однообразными и схематичными. «Поэтому знания о закономерностях строения человеческого тела необходимо давать на уроках изобразительного искусства грамотно, насыщая ими программу, включая теорию в практическую работу по изображению людей с натуры, по памяти и представлению» [1, с. 332–333].

Когда преподаватель дает детям известный тест «Дом. Дерево. Человек», часто бывает, что ребенок не изображает человека. Это говорит о том, что ребенок, скрывая свое неумение изображать фигуру человека, идет на хитрость, объясняя тем, что человек в домике или спрятался за деревом. Важным фактором становится целенаправленное обучение детей рисованию человека, учитывая их возрастные особенности, индивидуальные способности, а также художественно-образное мышление. «Одним из механизмов творческого развития личности в области изобразительного искусства является художественно-образное мышление, которое наиболее полно раскрывается в процессе художественной деятельности» [2, с. 122]. Методикой обучения изображению фигуры, портрета человека занимались художники с древних времен. Было высказано множество ценных мыслей о методике изображения человека, Гете в своем сочинении писал: «Теперь я всецело отдался изучению человеческой фигуры, составляющей *non plus ultra* всего человеческого знания и деятельности. Моя усердная подготовка в изучении всех областей природы, особенно остеологии, помогает мне идти быстрыми шагами вперед» [3, с. 113]. Многие авторы фундаментальных трудов

подчеркивают особое значение в изучении и освоении пластической анатомии, позволяющее развивать различные возможности творческого самосовершенствования в художественной деятельности.

Научность статьи заключается в решении важной проблемы творческого развития обучающихся в процессе освоения практических навыков в изображении фигуры человека, установлена взаимосвязь умений рисования фигуры человека с умозрительным замыслом с освоением конкретных технических, анатомических и эмоциональных характеристик изображаемых персонажей в детских композициях.

Решение данной проблемы заключается в необходимости исследования методики обучения рисованию фигуры человека, удовлетворяющей потребности развития личности обучающихся 8–9-летнего возраста в художественной школе. Все это ведет к тому, что неумение изображать человека в сюжетно-тематической композиции снижает уровень подготовки учащихся в художественной школе. Необходимо тщательное изучение пластической анатомии.

Особая значимость данной работы заключается в создании учебного набора специальных заданий и упражнений, который будет наиболее эффективным для обучения детей 8–9 лет в художественной школе. Экспериментальный подход, включающий определение целей, учебные задачи, программу и план, содержание уроков, теоретическое и методическое обоснование, позволит более эффективно решить данную проблему.

Задачи:

- изучить и проанализировать литературу, связанную с обучением рисованию человека в школе искусств;
- создать тесты для оценки работ учащихся 8–9 лет в области рисования человека;
- улучшить методические рекомендации для более эффективного обучения рисованию человека учащихся школы искусств;
- обосновать оптимальные условия, способствующие развитию умений учащихся в изображении людей в сюжетно-тематических композициях.

#### Материалы и методы исследования

Методы исследования включают изучение разнообразных источников: учебную литературу по педагогике, искусствоведению, психологии, методике преподавания композиции, а также учебные планы по ИЗО; произведений художников, содержащих изображения людей; анализ работ школьников, в рамках экспериментального исследования.

Методику обучения рисованию человека следует строить инновационными способами работы с использованием современных педагогических технологий, последовательного анализа отдельных методов и приемов с применением наглядного материала (схемы, таблицы, репродукции картин художников), набросков и зарисовок, продолжительных по времени упражнений и заданий с подробным анализом ведения работы над изображением человека. При разработке педагогических технологий учитывалось научное планирование образовательного процесса и эффективный выбор методов и приемов обучения детей, таких как объяснение, демонстрация на практике, коррекция ошибок, их анализ, рефлексия и др. Технологии процесса передачи преподавателем теоретических знаний и практических навыков строились строго в соответствии с целями, которые принимали форму

конкретного ожидаемого результата в овладении учащимися анатомией человека. Однако не стоит и пренебрегать классическим подходом. Например, преподаватель Академия акварели и изящных искусств Сергея Андрияки А.В. Щемелинский пишет: «Чтобы определенной изобразить фигуру, надо представить ее как совокупность геометрически форм, расположенных на разном удалении от рисующего и как бы входящих одна в другую» [4, с. 7].

Чтобы определить уровень практических умений изображать человека, учащимися в художественной школе были разработаны основные параметры оценки работ. Данные параметры позволяют определить умения обучающихся изображать человека в сюжетно-тематических композициях и возможность объективного анализа поставленной проблемы, а также сделать выводы на всех этапах исследования (табл. 1).

**Таблица 1**

Основные параметры для оценки работ обучающихся 8–9 лет в области рисования человека в художественной школе

Параметры	Уровни		
	Низкий	Средний	Высокий
Передача формы и пропорции фигуры человека	Неверно переданы формы и пропорции	Имеются незначительные нарушения в пропорциональном строении фигуры человека	Формы и пропорции фигуры человека переданы верно
Передача динамики фигуры человека	Отсутствует центр тяжести. Полная статика фигуры	Переданы неубедительно движения человеческого тела, расположения только рук и голов, зажатость и скованность	Движения фигуры выглядят естественно, правдоподобно. Присутствует динамика в изображении фигуры человека
Передача характерных особенностей, пропорции лица и мимики	Отсутствие характера. Пропорции лица не переданы, либо искажены, мимика, эмоции отсутствуют	Местоположения частей лица между собой незначительно нарушены, слабое проявление в изображении эмоций и мимики	Удачная передача характерных особенностей, пропорций лица. В рисунках переданы эмоции и мимика персонажей
Передача пластики и анатомии человека	Внешние формы фигуры человека не переданы или искажены	Пластическая анатомия имеет незначительные неточности и погрешности	Передача пластики и анатомии фигуры человека изображены убедительно, верно

**Таблица 2**

Анализ работ обучающихся 1 класса ДШИ № 2 на констатирующем этапе эксперимента

Параметры	1-я группа (11 учеников)		2-я группа (10 учеников)			
	уровни					
	низкий	средний	высокий	низкий	средний	высокий
1. Передача формы и пропорций фигуры человека	64%	27%	8%	60%	40%	0%
2. Передача динамики фигуры человека	82%	18%	0%	70%	30%	0%
3. Передача характерных особенностей, пропорции лица и мимики	91%	9%	0%	100%	0%	0%
4. Передача пластики и анатомии человека	73%	18%	9%	90%	10%	0%

Констатирующий этап эксперимента был проведен в 1 классе детской художественной школы г. Нижневартовска. Цель данного этапа заключалась в выявлении уровня умений обучающихся 8–9-летнего возраста изображать фигуру человека в сюжетно-тематической композиции. В эксперименте участвовали две группы обучающихся, в первой группе были задействованы 11 чел., во второй – 10.

Заданием констатирующего этапа эксперимента для учащихся послужила сюжетная композиция на тему «Из пушистого снежка лепим мы снеговика» с изображением фигуры человека или группы людей. К основной задаче учащимся также необходимо передать в своем рисунке атмосферность заданной композиции. Материал – карандаш, гуашь, кисточки, бумага формата А3.

Из показателей табл. 2 видно, что изображение фигуры человека вызывает особые сложности у обучающихся 8–9-летнего возраста в художественной школе. Так, например, по параметру 1 «Передача формы и пропорций фигуры человека» низкий уровень в первой группе составил 64%, во второй – 60%, средний уровень в первой группе составил 27%, во второй – 30%, соответственно низкий 8% в первой группе и 0% во второй группе. Столь удручающую ситуацию можно наблюдать и по другим параметрам оценки.

Примером выполнения данного задания служат работы Лены В. (рис. 1), Оксаны Д. (рис. 2). Все изображенные фигуры людей на рисунках статичны, условны, имеют про-

порциональные неточности, нет построения фигуры по законам анатомической связи.



Рис. 1. Лена В.



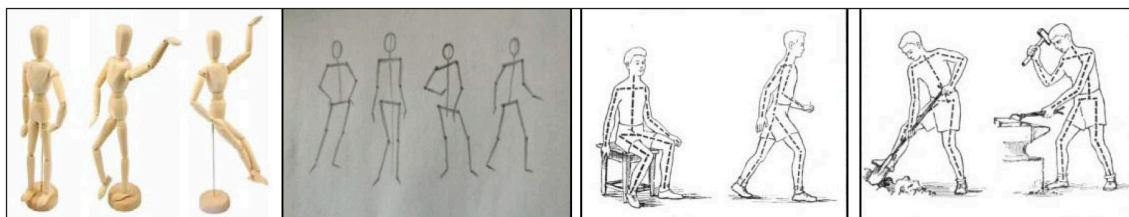
Рис. 2. Оксана Д.

Анализ работ учащихся 1 класса художественной школы позволил выявить существенные проблемы в изображении фигуры человека. Для решения задачи был разработан учебный набор специальных заданий, упражнений и тем сюжетно-тематических композиций, который представлен в табл. 3.

Таблица 3

Учебный набор специальных заданий и упражнений, направленных на обучение школьников рисованию человеческой фигуры

№	Тема	Содержание занятий	Кол-во ч.
1.	Схематическое изображение фигуры человека в динамике	Нарисовать схемы человека в различных позах и динамике. Материал: бумага, карандаш	2 ч
2.	«На катке»	Изобразить людей, катающихся на коньках. Материал: бумага, гуашевые краски	2 ч
3.	«Новогодний маскарад»	Изобразить сюжетно-тематическую композицию Новогоднего праздника с хороводом детей вокруг елки. Материал: бумага, гуашь	2 ч
4.	«В хантыйском стойбище»	Нарисовать по представлению бытовую сцену из жизни хантов в стойбище. Материал: бумага, гуашевые краски	2 ч
5.	«Рождественские колядки»	Изобразить многофигурные сцены из народных гуляний на Рождественские колядки. Материал: бумага, гуашевые краски	3 ч
6.	«Летний отдых»	Нарисовать по памяти сюжеты летнего отдыха детей, или родителей, бабушек и дедушек. Материал: бумага, гуашевые краски	3 ч
7.	«На рыбалке»	Изобразить сцену рыбалки, традиционного уклада жизни хантов. Материал: бумага, акварель	3 ч
8.	«Скорость»	Изобразить по представлению сюжет спортивных соревнований, где должна передаваться динамичность и скорость спортсменов. Материал по выбору учеников	3 ч



*Рис. 3. Деревянные модели человека.  
Пример выполнения схематического изображения фигуры человека в динамике*

Перед выполнением практической работы каждого задания обучающимся давался подробный теоретический анализ, практический показ приемов выполнения фигуры человека в определенной динамике, объяснялись пропорции и анатомические особенности фигуры человека, демонстрировались наглядные пособия и репродукции картин художников с изображением как единичных, так и массовых сцен с людьми. «Рисую фигуру человека, важно иметь ясное представление о сравнительных пропорциях ее частей и их взаимном расположении» [5, с. 20]. Каждому заданию предшествовали упражнения на выполнение схематических рисунков, набросков и зарисовок фигуры человека с деревянных моделей (рис. 3). Большое внимание уделялось выполнению зарисовок фигуры человека с натуры. Обучающиеся позировали друг другу.

В качестве первого задания этапа эксперимента ученикам было предложено изобразить разнообразные позы людей в динамике и статике. «Благодаря этому у обучающихся развивается умение анализировать силуэт и форму натуры, а также наиболее точно передавать пластические характеристики модели в рисунке» [6, с. 222]. Данное задание, несмотря на легкость и простоту выполнения, вызвало определенные затруднения, поскольку требовало от детей точности определения пропорций фигуры человека, динамики и устойчивости фигуры в пространстве.

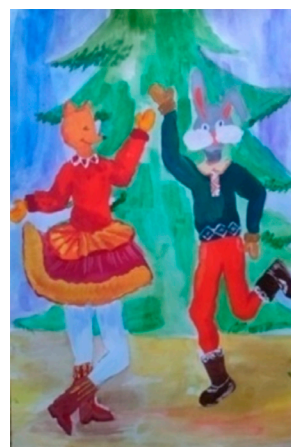
Второе задание было направлено на изучение динамики и равновесия фигуры человека, стоящего на одной ноге. Для этого было предложено ученикам изобразить катающегося на коньках человека. Примером выполнения данного задания служит работа Марии В. (рис. 4). Такое выполнение довольно типично на начальном этапе обучения, изображение ноги не имеет четко го изгиба в коленном суставе и выполнено дугообразно.

Следующая работа заключалась в изображении группы людей, задействованных одним смысловым содержанием: изобразить сюжетно-тематическую композицию

новогоднего праздника. В работе Насти К. (рис. 5) изображены две фигуры в маскарадных костюмах, очень выразительно переданы движения танцующих зайца и лисы, причем каждый персонаж имеет разные динамичные трактовки. Также можно наблюдать улыбку в мимике на маске лисицы, что довольно иллюзорно в понимании ученицы.



*Рис. 4. Мария В.*



*Рис. 5. Настя К.*

Четвертое задание данного этапа эксперимента заключалось в изображении по представлению бытовой сцены из жизни хантов на стойбище (рис. 6). Довольно сложный ракурс в изображении оленя мы видим в этом рисунке, девочка расположена в трехчетвертном повороте, что также очень редко встречается в рисунках детей данного возраста.



Рис. 6. Матвей Е.



Рис. 7. Полина Ш.

Далее наш эксперимент продолжился необычным заданием для обучающихся, которое совпало с празднованием традиционного народного гуляния в «Рождественские колядки». Обучающимся было предложено изобразить многофигурные сцены из народных гуляний на «Рождественские колядки». Примером выполнения данного задания служит работа Полины Ш. (рис. 7). Таких своеобразных и интересных работ у ребят было очень много. Здесь наблюдается и выразительная динамика, и пропорции людей различного возраста, и эмоциональное настроение, переданное через детали, образы, колорит, костюмы изображенных персонажей. «Большое значение для развития образных представлений и эмоциональной сферы ребенка имеет наглядность, демонстративный материал – рисунки, фотографии, репродукции, схемы, аудио- и видеоматериалы» [7, с. 147].

Следующее задание педагогического эксперимента было направлено на выявление умений обучающихся изображать многофигурную композицию по памяти: «Летний отдых» – от детей требовалось нарисовать сюжеты летнего отдыха детей или родителей, бабушек и дедушек (рис. 8). Здесь также можно увидеть динамику фигур людей, передачу убедительной анатомии человека, пропорционального соотношения массы и форм при изменении положения в движении.



Рис. 8. Регина М.

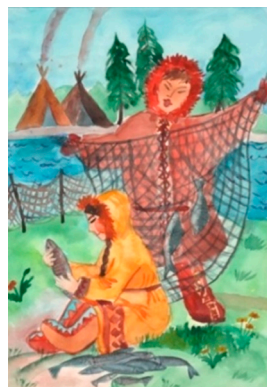


Рис. 9. Алина А.



Рис. 10. Егор П.

На завершающем этапе эксперимента обучающимся было предложено изобразить сцену рыбалки – традиционного уклада жизни хантов и манси. Все обучающиеся с этой задачей справились успешно, примером выполнения этого задания служит работа Алины А. (рис. 9).

И наконец, чтобы проверить, насколько выросли показатели по всем параметрам, были проанализированы контрольно-проверочные работы обучающихся художественной школы 8–9-летнего возраста. Детям была предложена тема «Скорость», что предполагало изобразить по представлению сюжет спортивных соревнований, где должна передаваться динамичность и скорость спортсменов (табл. 4). Работа Егора П. (рис. 10) – яркий тому пример.



Таблица 4

Анализ работ обучающихся 1 класса ДШИ № 2  
на контрольно-проверочном этапе эксперимента

Параметры	1-я группа (11 учеников)			2-я группа (10 учеников)		
	уровни					
	низкий	средний	высокий	низкий	средний	высокий
1. Передача формы и пропорций фигуры человека	0%	91%	9%	0%	80%	20%
2. Передача динамики фигуры человека	9%	55%	36%	10%	80%	10%
3. Передача характерных особенностей, пропорции лица и мимики	27%	46%	27%	20%	60%	20%
4. Передача пластики и анатомии человека	18%	36%	46%	0%	80%	20%

После тщательного анализа работ обучающихся 1 класса контрольно-проверочного этапа эксперимента результаты по всем параметрам впечатляют. Так, например, если на констатирующем этапе исследования по параметру «Передача формы и пропорций фигуры человека» низкий уровень в группе 1 составил 64%, то на контрольно-проверочном этапе этот параметр показал 0%, средний уровень – 27%, на контрольно-проверочном он составил уже 91%, что на 64% выше. Динамику роста показателей можно проследить по всем параметрам в двух группах. Такие высокие результаты подтверждают эффективность разработанного учебного набора специальных заданий и упражнений, целью которого является обучение детей художественной школы рисованию человеческой фигуры. Каждый обучающийся проявил в работе свои индивидуальные творческие способности. «Более того, рисуя человека, он развивает свое воображение и фантазию, зрительную память, что позволяет ему решать любые творческие замыслы и задачи» [8, с. 328].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Обучение рисованию человеческой фигуры – это постепенный процесс освоения художественного мастерства. Для того, чтобы нарисовать человека, необходимо развивать определенные навыки и качества, такие как глазомер, творческое и пространственное мышление, фантазию, память, чувство сочетания цветов и т.п. Разработанная серия занятий играет важную роль в развитии интереса обучающихся к рисованию людей разных возрастов, знакомит их с творчеством великих мастеров и является необходимым этапом в подготовке к созданию сюжетно-тематических композиций.

#### Заключение

Следовательно, можно сделать вывод, что в процессе проведенного исследования значительно улучшились умения и навыки изображения фигуры человека или группы людей учащимися художественной школы. Анализ контрольного этапа эксперимента показал, что обучающиеся не боятся создавать сложные композиции и стремятся продемонстрировать свое мастерство в создании сюжетно-тематической композиции.

#### Список литературы

1. Филимонов А.И., Канунникова Т.А. Значение пластической анатомии и анатомического рисунка фигуры человека в педагогическом образовании // *Kant*. 2020. № 2 (35). С. 329–336. DOI: 10.24923/2222-243X.2020-35.70.
2. Польшкая И.Н., Савинов А.М., Крысова В.А. Художественно-образное мышление как один из аспектов формирования творческих способностей будущего учителя изобразительного искусства // *Перспективы науки и образования*. 2020. № 2 (44). С. 120–137. DOI: 10.32744/pse.2020.2.10.
3. Ростовцев Н.Н. История методов обучения рисованию: Зарубежная школа рисунка: учеб. пособие для студентов педагогических институтов по специальности № 2109 «Черчение, рисование и труд». М.: Просвещение, 1981. 192 с.
4. Щемелинский А.В. Рисунок обнаженной фигуры в сложном ракурсе в Академии акварели и изящных искусств Сергея Андрияки // *Secreta Artis*. 2020. № 2 (10). С. 2–16.
5. Аблямитова Л.Х. Изучение композиционных основ в процессе изображения фигуры человека будущими учителями начальных классов // *Среднее профессиональное образование*. 2021. № 11 (315). С. 20–24.
6. Филиппова Л.С., Тамразян А.С., Мясникова А.Г. Наброски и зарисовки фигуры человека как средство развития творческих способностей обучающихся // *Bulletin of the International Centre of Art and Education*. 2024. № 2. С. 222–230.
7. Польшкая И.Н. Формирование творческого воображения посредством лепки на занятиях по изобразительному искусству и технологии в начальных классах общеобразовательной школы // *Современные наукоемкие технологии*. 2023. № 10. С. 146–152. DOI: 10.17513/snt.39807.
8. Скворцов А.В. Рисование фрагментов человеческого тела и их пространственно-пластическое изображение в практике академического рисунка // *Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник РГХПУ им. С.Г. Строганова*. 2020. № 3–2. С. 327–333.

УДК 378.1:372.853  
DOI

## ПРОБЛЕМА ВЗАИМОСВЯЗИ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН «ФИЗИКА» И «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА» ПРИ ОБУЧЕНИИ В ВУЗЕ

Ракин Г.В.

*Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», Астрахань, e-mail: grisha\_rakin@mail.ru*

Цель данной исследования – выявить причину возникновения трудностей при изучении учебной дисциплины «Физика» в процессе обучения в вузе на инженерно-технических направлениях подготовки, в рамках ее взаимосвязи с учебными дисциплинами «Высшая математика» и «Математический анализ». Проведенный опрос выпускников школ г. Астрахани и Астраханской области, являющихся на данный момент студентами вторых курсов вузов в разных городах России и обучающихся на инженерных направлениях подготовки, показал, что, по их мнению, при обучении на первом курсе наибольшие трудности вызывало у них изучение физики, причем из-за недостаточной математической подготовки. Проведенный анализ рабочих программ ряда российских вузов показал, что программа по высшей математике нередко «отстает» от требований программы по физике, что, как правило, и является основной причиной возникновения у обучающихся трудностей при изучении учебного материала по физике, а это, в свою очередь, приводит к трудностям при изучении инженерных спецдисциплин. Поэтому для достижения высококачественной подготовки в вузе будущих инженеров необходимо, чтобы при обучении на первых курсах учащиеся получали прочные, взаимодополняющие друг друга знания по физике и математике, которые впоследствии были бы применимы при изучении профильных дисциплин. В связи с этим возникает необходимость внесения точечных изменений в содержание контрольно-измерительных материалов единого государственного экзамена по профильной математике, а также пересмотра учебных планов и рабочих программ вузов по дисциплинам «Высшая математика» и «Физика» для обеспечения их согласованности между собой.

**Ключевые слова:** подготовка специалистов инженерных специальностей, взаимосвязь учебных дисциплин «Физика» и «Математика», методика преподавания физики в вузе

## THE PROBLEM OF THE INTERRELATION BETWEEN THE ACADEMIC DISCIPLINES “PHYSICS” AND “HIGHER MATHEMATICS” IN STUDIES AT A HIGHER EDUCATION INSTITUTION

Rakin G.V.

*Caspian Institute of Sea and River Transport named after general-admiral F. M. Apraksin – branch of the Volga State University of Water Transport, Astrakhan, e-mail: grisha\_rakin@mail.ru*

The purpose of this work is to identify the cause of difficulties in studying the academic discipline “physics” in the process of studying at a university in the engineering and technical areas of training, in the framework of its relationship with the academic disciplines “higher mathematics” and “mathematical analysis”. A survey of school graduates in Astrakhan and the Astrakhan region, who are currently 2nd-year students of universities in different cities of our country and studying in engineering areas of training, showed that, in their opinion, when studying in the 1st year, the greatest difficulties were caused by studying physics, and due to insufficient mathematical training. The analysis of the work programs of a number of Russian universities showed that the program in higher mathematics often “lags behind” the requirements of the program in physics, which, as a rule, is the main reason for the difficulties students have in studying the educational material in physics, and this, in turn, leads to difficulties in studying engineering special disciplines. Therefore, in order to achieve high-quality training of future engineers at a university, it is necessary that during their first years of study, students receive solid, mutually complementary knowledge of physics and mathematics, which would subsequently be applicable when studying specialized disciplines. In this regard, there is a need to make targeted changes to the content of the control and measuring materials of the Unified State Exam in specialized mathematics, as well as to revise the curricula and work programs of universities in the disciplines “Higher Mathematics” and “Physics” to ensure their consistency with each other.

**Keywords:** training of specialists in engineering specialties, the relationship between the academic disciplines “Physics” and “Mathematics”, methods of teaching physics at a university

### Введение

На данный момент современная экономика и промышленность остро нуждаются в высококвалифицированных специалистах инженерной сферы. Дефицит инженерных кадров остается острой, требующей решения проблемой для отдельных отраслей экономики и особенно промышленности.

Вопрос о повышении престижа профессии инженера в 2022 г. был поднят Президентом на Совете по стратегическому развитию и национальным проектам Российской Федерации [1]. Для данной проблемы разрабатываются различные решения, такие как программа «Передовые инженерные школы» [2], целью которых является ком-

плексная модернизация системы подготовки будущих инженеров за счет перехода на отраслевой подход к подготовке кадров.

Среди инженерных специальностей отмечалась наибольшая востребованность таких профессий, как инженеры по гражданскому строительству, геодезисты, картографы и топографы, проектировщики градостроители и проектировщики транспортных узлов, инженеры-электроники, инженеры-химики и инженеры-электрики. Об этом говорит последнее исследование, проведенное Институтом статистических исследований и экономики знаний Высшей школы экономики (ВШЭ) [3].

Очевидно, что для поступления на программу высшего образования по данным направлениям выпускнику школы необходимо сдать единый государственный экзамен (ЕГЭ) по русскому языку, профильной математике и физике. Однако в последнее время наблюдается тенденция к уменьшению количества учащихся, выбирающих для сдачи ЕГЭ по физике. По данным Рособнадзора, с 2012 по 2016 г. доля школьников, выбравших ЕГЭ по физике, составляла 27% от общего числа сдающих госэкзамены по выбору, в 2017 г. – 23%, в 2018 г. – 21%, в 2019 и 2020 гг. – 19%, в 2021 г. – 18%, в 2022 г. – 16%, в 2023 г. – 14%. Власти связывают снижение популярности физики с тем, что с 2021 г. правила приема в вузы изменились. Теперь университеты имеют право принимать абитуриентов на большинство направлений по итогам лучшего результата ЕГЭ по одному из выбранных предметов. Например, некоторые вузы на ряд направлений подготовки предлагают предоставить результаты экзамена по информатике вместо результатов экзамена по физике. Поэтому многие абитуриенты пользуются такой возможностью [4]. Однако, по словам ректора Томского политехнического университета Дмитрий Седнева, эта альтернатива не очень удачна, так как «мы получаем очень разношерстные группы, которые сложно одинаково обучать. Нам приходится вести адаптационную подготовку внутри вуза. Информатика – это все же цифровая грамотность и язык, а физика – это базовая грамотность и понимание мира. Это не может быть альтернативой» [5].

В то же время причин возникновения проблемы снижения количества старшеклассников, выбирающих для сдачи ЕГЭ по физике и, соответственно, будущих студентов инженерных направлений подготовки, может быть несколько. Первой возможной причиной является, как уже было сказано ранее, мнение самих выпускников о чрезмерной сложности ЕГЭ по физике.

Поэтому все чаще выпускники выбирают для сдачи более легкие, по их мнению, ЕГЭ по информатике или химии. Понимание данного факта привело к тому, что экзаменационная работа ЕГЭ по физике претерпела в 2024 г. некоторые изменения. В результате, как сообщает Рособнадзор, снижение количества участников, выбравших ЕГЭ по физике, прекратилось и составило 15% от общего количества выпускников.

Второй возможной причиной является мнение студентов инженерных направлений подготовки о сложности обучения по этим направлениям, так как обучение по конкретной инженерной специальности предполагает изучение таких профильных дисциплин, как «Сопротивление материалов», «Теоретические основы электротехники», «Гидромеханика», «Теория механизмов и машин» и т.д., изучение которых на должном уровне также невозможно без необходимых для этого знаний по физике и математике, что, в свою очередь, еще больше усложняет обучение по данным направлениям подготовки.

Поэтому **цель данного исследования** – выявить причину возникновения трудностей при изучении учебной дисциплины «физика» в процессе обучения в вузе на инженерно-технических направлениях подготовки, в рамках ее взаимосвязи с учебными дисциплинами «Высшая математика» и «Математический анализ».

### Материалы и методы исследования

Как оказалось, ситуация, при которой у учащихся возникают сложности при изучении физики из-за недостаточной математической подготовки, возникает достаточно часто. Об этом говорят результаты проведенного опроса, в котором приняли участие 193 выпускника (87 девушек и 106 юношей) школ г. Астрахани и Астраханской области (у примерно 34% участников опроса (66 чел.) физику в школе преподавал лично автор данной статьи) в возрасте от 19 до 20 лет, являющихся на данный момент студентами вторых и третьих курсов российских вузов в разных городах России и обучающихся на инженерных направлениях подготовки. Участникам опроса предлагалось ответить на вопрос, изучение какой учебной дисциплины при обучении на первом курсе вызвало у них наибольшие трудности и почему. Опрос проводился с помощью сервиса Yandex Forms, результаты опроса были обработаны с помощью программы Vortex 10. Проведенная обработка позволила получить следующие результаты. Так, примерно 84% опрошенных (162 чел.) сказали, что при обучении на первом кур-

се наибольшие трудности вызывало у них изучение физики, причем, по мнению 77% от общего количества участников опроса (149 чел.), проблемы с изучением физики, как правило, возникали из-за недостаточной подготовки по математике.

Достоверно известно, что ранее таких проблем не возникало, так как учебные планы по дисциплинам «Физика» и «Математика» строились таким образом, чтобы их согласованность позволяла применять полученные на математике знания непосредственно при решении физических задач, а также чтобы изучение определенных тем курса физики осуществлялось одновременно или практически сразу с изучением определенных тем курса математики, учебный материал которых необходим для объяснения и понимания учебного материала по физике.

Однако в последнее время можно наблюдать, что рабочие программы вузов по учебным дисциплинам «Высшая математика» и «Физика» не всегда согласуются между собой. Проведенный анализ учебных планов высших учебных заведений, входящих в «Рейтинг вузов по инженерно-техническому направлению в 2023 году» по версии рейтингового агентства РАЕХ («РАЕКС Аналитика») [6], в число которых вошли такие вузы, как Московский физико-технический университет, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), Российский технологический университет МИРЭА, Санкт-Петербургский государственный

университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, показал, что зачастую изучение учебных дисциплин «Высшая математика» и «Физика» происходит в один и тот же период обучения. Как правило, это первый семестр первого курса.

В сегодняшних реалиях при таком составлении учебного плана у обучающихся нередко возникают трудности при изучении учебного материала по физике, вследствие отсутствия у них достаточных для этого знаний по математике. Рассмотрим причины возникновения данной проблемы. Так, на первом курсе изучение учебной дисциплины «Физика» абсолютно во всех российских вузах традиционно начинается с изучения раздела «Механика» (рис. 1).

Для понимания учебного материала данного раздела и формирования навыка решения физических задач необходимо, чтобы учащиеся на должном уровне владели операциями дифференцирования и интегрирования (рис. 2).

Если с дифференцированием учащиеся, как правило, знакомы со школы, то при решении задач, требующих использования операции интегрирования, у учащихся нередко возникают сложности. Как правило, это происходит потому, что в курсе математики одиннадцатого класса тема «Интегрирование функции одного переменного» практически не изучается.

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	32	64	32
<b>1-8</b>	<b>Механика материальной точки</b>	16	32	0
1	<b>Вводная лекция.</b> Место курса физики в естественнонаучном модуле образовательной программы.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Кинематика. Система отсчета. Материальная точка. Абсолютно твердое тело</b> Путь. Перемещение. Скорость. Компоненты скорости по координатным осям. Вычисление пройденного пути. Ускорение. Компоненты ускорения по координатным осям. Тангенциальное и нормальное ускорения. Твердое тело. Число степеней свободы твердого тела. Поступательное движение твердого тела. Вращение вокруг неподвижной оси. Угловая скорость. Угловое ускорение. Связь между угловыми и линейными скоростями и ускорениями. Плоское движение твердого тела. Произвольное движение твердого тела.	Всего аудиторных часов		
		2	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

Рис. 1. Фрагмент рабочей программы по учебной дисциплине «Общая физика: Механика» [7]

В случае прямолинейного движения скорость материальной точки при  $v_0 = 0$  (условие задачи):

$$v = \int_0^t a dt. \quad (2)$$

Подставив в формулу (2) выражение (1) и проинтегрировав, получим искомую скорость

$$v = At - \frac{Bt^2}{2}.$$

Искомая координата

$$x = \int_0^t v dt = \int_0^t \left( At - \frac{Bt^2}{2} \right) dt = \frac{At^2}{2} - \frac{Bt^3}{6}.$$

Рис. 2. Пример решения физической задачи из темы «Кинематика» рабочей программы по общей физике [8, с. 7]

Спецификация КИМ ЕГЭ 2024 г.

МАТЕМАТИКА, 11 класс. Профильный уровень. 12 / 17

Номер задания	Проверяемые предметные результаты освоения основной образовательной программы	Коды проверяемых требований (по кодификатору)	Коды проверяемых элементов содержания (по кодификатору)	Уровень сложности задания	Максимальный балл за выполнение задания	Примерное время выполнения задания выпускником, изучавшим математику на базовом уровне (в мин.)	Примерное время выполнения задания выпускником, изучавшим математику на профильном уровне (в мин.)
8	Умение оперировать понятиями: функция, экстремум функции, наибольшее и наименьшее значения функции на промежутке, производная функции, первообразная; находить уравнение касательной к графику функции; умение находить производные элементарных функций; умение использовать производную для исследования функций, находить наибольшие и наименьшие значения функций; <u>находить площади фигур с помощью интеграла</u>	4	3, 4	Б	1	10	5

Рис. 3. Выдержка из спецификации контрольных измерительных материалов ЕГЭ по профильной математике [11]

Это подтверждается результатом опроса, в котором приняли участие 52 действующих учителя математики различных школ г. Астрахани и Астраханской области, таких как ГБОУ «Инженерная школа», ГБОУ «Астраханский технический лицей», МБОУ «Гимназия № 1», МБОУ «Лицей № 2 г. Астрахани» и т.д., который показал, что основной упор при изучении математики в выпускном классе делается на подготовку к сдаче единого государственного экзамена. Поэтому, несмотря на то, что, согласно спецификации содержания контрольно-измерительных матери-

алов (КИМ) ЕГЭ по профильной математике, в них должны присутствовать задания, для решения которых необходимы знания таких понятий, как «дифференциал» (учащимся часто не поясняется связь между «производной» и «дифференциалом») и «интеграл» (рис. 3), сами задания такого типа встречаются крайне редко, в связи с чем на изучение тем, связанных с данными понятиями, выделяется очень мало учебного времени (1–2 урока) или не выделяется вовсе. Данная проблема является далеко не новой и нередко освещалась в работах других авторов [9; 10].

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	45	45	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	24	24	0
1 - 2	<b>Первообразная и неопределенный интеграл</b> Первообразная функция и неопределенный интеграл. Таблица основных интегралов. Интегрирование посредством замены переменного и по частям. Интегрирование рациональных функций. Интегрирование некоторых иррациональных и тригонометрических функций.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Определенный интеграл</b> Разбиение отрезка, диаметр разбиения. Интегральные суммы. Предел интегральных сумм. Определение интегрируемой функции и определённого интеграла. Ограниченность интегрируемой функции. Суммы Дарбу и действительных чисел.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

Рис. 4. Фрагмент рабочей программы по учебной дисциплине «Математический анализ» [12]

Очевидно, что данный пробел в знаниях у учащихся призвана ликвидировать учебная программа вуза по дисциплинам «Математический анализ» и «Высшая математика». Однако проведенный анализ рабочих программ по данным учебным дисциплинам названных ранее вузов показал, что изучение дифференцирования и интегрирования в ходе их изучения происходит значительно позже (рис. 4), а именно, в конце первого семестра или в начале второго семестра.

Возможно, поэтому учебные планы ряда других высших учебных заведений, таких как Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Московский государственный технологический университет «Станкин», Московский авиационный институт, Московский политехнический университет, Национальный исследовательский технологический университет МИСИС, Дальневосточный федеральный университет, Сибирский федеральный университет и др., также входящих в «Рейтинг вузов по инженерно-техническому направлению в 2023 году» по версии рейтингового агентства RAEX («РАЕКС Аналитика»), составлены таким образом, что изучение высшей математики и математического анализа начинается в первом семестре, а изучение физики – во втором. Такой подход позволяет ликвидировать у обучающихся недостаток необходимых знаний по математике и приступить к изучению учебного материала по физике с необходимой для этого математической подготовкой.

Приведем еще один пример. При изучении рабочих программ по физике по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы

связи» было установлено, что в них содержится учебный материал по таким темам, как «Поле сил» (первый семестр) [13, с. 144], «Электростатика» (начало второго семестра) [13, с. 148], а также «Уравнения Максвелла для электромагнитного поля» (середина второго семестра) [13, с. 149]. Очевидно, что для полноценного изучения данных тем необходимо, чтобы студенты имели представление об основах векторного анализа, понимали смысл таких понятий, как скалярное и векторное поля, градиент, дивергенция, могли работать с криволинейными интегралами, интегралами по замкнутому контуру, а также дифференциальными операторами. В то же время анализ рабочих программ по дисциплине «Математический анализ» этого же направления подготовки показал, что изучение кратных и криволинейных интегралов и элементов теории поля также происходит уже после того времени, когда знания данных тем необходимы при изучении учебного материала по физике (конец второго семестра) [14, с. 130–131], или же вообще изучение данных тем рабочей программой не предусмотрено.

Рассмотрим другой пример, в котором учебная программа по высшей математике, наоборот, «опережает» программу по физике и получаемые математические знания являются преждевременными. Анализ учебных планов ряда инженерно-технических направлений подготовки, таких как, например, 27.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок» или 27.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики», показал, что на втором курсе обучающиеся начинают изучение учебной дисциплины «Теоретические осно-

вы электротехники». Для успешного освоения учебного материала данной учебной дисциплины необходимо, чтобы у учащихся имелись знания из такого раздела математики, как «Теория функций комплексного переменного». Анализ рабочих программ по дисциплине «Высшая математика» показал, что в ряде вузов учебный материал данного раздела изучается в самом начале обучения – в начале первого семестра первого курса, в то время как наибольшая потребность в использовании данного учебного материала возникает только через год, как раз таки при изучении учебного материала дисциплины «Теоретические основы электротехники (ТОЭ)». Получается, что необходимый учащимся в рамках изучения «ТОЭ» учебный материал по дисциплине «Высшая математика» изучается гораздо раньше, чем это необходимо, так как спустя год учащиеся не всегда могут его успешно применить в полном объеме, что, в свою очередь, затрудняет изучение связанных с ним профильных дисциплин.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Таким образом, имеются два пути решения проблемы взаимосвязи учебного материала по физике и высшей математике. Первый путь заключается в изучении необходимого учебного материала по математи-

ке непосредственно на лекционных и практических занятиях по физике. Данный подход зачастую используется в иностранной учебной литературе, как, например, в серии книг за авторством Р. Фейнмана, Р. Лейтона и М. Сэндса «Фейнмановские лекции по физике». Так, в пятом томе «Электричество и магнетизм» данной серии книг вторая глава посвящена дифференциальному исчислению векторных полей, третья глава – интегральному исчислению векторов (рис. 5). Таким образом, авторы вначале предлагают читателю изучение необходимого материала по математике, а затем, опираясь на ранее изученное, переходят к объяснению материала по физике.

Подобный подход также можно увидеть в учебнике Хью Янга, Роджера Фримана и Льюиса Форда «Университетская физика Сирза и Зимански с элементами современной физики» [16, с. 19–25, 38–39], в учебнике Ханса Оханиана и Джона Маркерта «Физика для инженеров и ученых» [17, с. 32–38], а также в учебнике Раймонда Сервея и Джона Джеветта «Физика для ученых и инженеров с элементами современной физики» [18, с. 22–26]. Однако, несмотря на свою очевидную эффективность, такой подход не всегда является приемлемым, так как требует выделения дополнительного учебного времени, которое в нынешних реалиях весьма ограничено.

<b>Глава 2. Дифференциальное исчисление векторных полей</b>	<b>28</b>
§ 1. Понимание физики	28
§ 2. Скалярные и векторные поля — $T$ и $\mathbf{h}$	30
§ 3. Производные полей — градиент	33
§ 4. Оператор $\nabla$	37
§ 5. Операция с $\nabla$	38
§ 6. Дифференциальное уравнение потока тепла	40
§ 7. Вторые производные векторных полей	42
§ 8. Подвохи	45
<b>Глава 3. Интегральное исчисление векторов</b>	<b>47</b>
§ 1. Векторные интегралы; криволинейный интеграл от $\nabla\psi$	47
§ 2. Поток векторного поля	50
§ 3. Поток из куба; теорема Гаусса	53
§ 4. Теплопроводность; уравнение диффузии	55
§ 5. Циркуляция векторного поля	59
§ 6. Циркуляция по квадрату; теорема Стокса	61
§ 7. Поля без роторов и поля без дивергенций	64
§ 8. Итоги	66
<b>Глава 4. Электростатика</b>	<b>68</b>
§ 1. Статика	68
§ 2. Закон Кулона; наложение сил	70
§ 3. Электрический потенциал	73
§ 4. $\mathbf{E} = -\nabla\varphi$	77
§ 5. Поток поля $\mathbf{E}$	79
§ 6. Закон Гаусса; дивергенция поля $\mathbf{E}$	83

*Рис. 5. Фрагмент оглавления книги Р. Фейнмана, Р. Лейтона и М. Сэндса «Фейнмановские лекции по физике» [15, с. 2]*

Второй путь решения данной проблемы заключается в составлении и разработке рабочих программ по физике и высшей математике таким образом, чтобы программы дополняли друг друга, а именно, чтобы изучение конкретного учебного материала по физике осуществлялось практически сразу после изучения определенных тем курса высшей математики, знание которых необходимо для успешного овладения учебным материалом по физике. Опять-таки, с учетом ограниченного количества часов на изучение учебного материала, второй путь решения обсуждаемой проблемы является более предпочтительным. Однако это предполагает проведение большой и кропотливой работы.

### Заключение

Таким образом, для того, чтобы добиться высококачественной подготовки в вузе будущих инженеров, необходимо, чтобы при обучении на первых курсах учащиеся получали прочные, взаимодополняющие друг друга знания по физике и математике, которые впоследствии были бы применимы при изучении профильных дисциплин.

Решение поставленной задачи возможно при выполнении следующих действий:

1. Включить в содержание контрольно-измерительных материалов ЕГЭ по профильной математике отдельное задание, нацеленное на проверку у учащихся умения проводить операцию интегрирования функции одного переменного. Также необходимо, чтобы учащиеся знали о взаимосвязи между понятиями «производная» и «дифференциал».

2. Изменить учебные планы инженерных направлений подготовки таким образом, чтобы изучение физики начиналось не в первом, а во втором семестре первого курса.

3. Преподавателям физики следует выделять часть времени на лекционных занятиях на повторение учебного материала по математике, необходимого для понимания конкретной темы по физике.

### Список литературы

- Путин заявил о необходимости повышения престижа инженерной профессии // Новости в России и мире – ТАСС. [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/obschestvo/15246559> (дата обращения: 06.09.2024).
- Передовые инженерные школы подготовят кадры для самых востребованных отраслей экономики // Российская газета. [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2023/04/04/peredovye-inzhenerye-shkoly-podgotoviat-kadry-dlia-samyh-vostrebovannyh-otraslej-ekonomiki.html> (дата обращения: 06.09.2024).
- Потребность в инженерах растет // Институт статистических исследований и экономики знаний. [Электронный ресурс]. URL: <https://issek.hse.ru/news/875130529.html#:~:text=Наибольшая%20востребованность%20отмеча> лась%20среди%20таких,электрики%20(4%2C8%25) (дата обращения: 06.09.2024).
- Количество сдающих ЕГЭ по физике резко сократилось // Сайт «Поступи онлайн». [Электронный ресурс]. URL: <https://postupi.online/journal/novosti-ege/kolichestvo-sdayuschikh-ege-po-fizike-rezko-sokratilos/> (дата обращения: 07.09.2024).
- Министры образования поработали над ошибками // Коммерсантъ: последние новости России и мира. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5720583> (дата обращения: 17.09.2024).
- Рейтинг вузов по инженерно-техническому направлению (2023 год) // Рейтинговое агентство RAEX («РАЕКС Аналитика») – рейтинги, рэнкинги, аналитика, мероприятия. [Электронный ресурс]. URL: [https://raex-rr.com/education/Russian\\_universities\\_by\\_directions/engineering-technical\\_rating/2023/](https://raex-rr.com/education/Russian_universities_by_directions/engineering-technical_rating/2023/) (дата обращения: 01.10.2024).
- Рабочая программа учебной дисциплины «Общая физика: Механика». // Официальный сайт НИЯУ «МИФИ». [Электронный ресурс]. URL: <https://eis2.mephi.ru/programs/Program/Curriculum/929?curriculumId=937110bd-4175-4af4-8299-a144a797be1b#modDialog> (дата обращения: 20.09.2024).
- Трофимова Т.И. Курс физики. Задачи и решения: учеб. пособие для учреждений высшего проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 592 с.
- Данилкова Е.Р. Междисциплинарные связи физики и математики в системе обучения высшего профессионального образования // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 1–4 (76). С. 89–92. DOI: 10.24412/2500-1000-2023-1-4-89-92.
- Панцева Е.Ю., Кислякова О.П., Хазова А.А. Взаимосвязь в преподавании физики и математики в высшем учебном заведении // Проблемы современного педагогического образования. 2022. № 76–4. С. 263–265.
- Спецификация контрольных и измерительных материалов для проведения в 2025 году единого государственного экзамена по математике. Профильный уровень // Официальный сайт ФГБНУ «Федеральный институт педагогических измерений». [Электронный ресурс]. URL: <https://fipi.ru/egge/demoversii-specifikacii-kodifikatory#!tab/151883967-2> (дата обращения: 20.09.2024).
- Рабочая программа учебной дисциплины «Математический анализ». // Официальный сайт НИЯУ «МИФИ». [Электронный ресурс]. URL: <https://eis2.mephi.ru/programs/Program/Curriculum/929?curriculumId=937110bd-4175-4af4-8299-a144a797be1b#modDialog> (дата обращения: 20.09.2024).
- Рабочая программа дисциплины (модуля) «Физика». Направление «11.03.02 Информационные технологии и системы связи», направленность «Информационные системы и сети» // Официальный сайт ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет». [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mirea.ru/upload/sveden-new/11.03.02\\_ISS\\_2024/rpd\\_11.03.02\\_ISS\\_2024.pdf](https://www.mirea.ru/upload/sveden-new/11.03.02_ISS_2024/rpd_11.03.02_ISS_2024.pdf) (дата обращения: 20.09.2024).
- Рабочая программа дисциплины (модуля) «Математический анализ». Направление «11.03.02 Информационные технологии и системы связи», направленность «Информационные системы и сети» // Официальный сайт ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет». [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mirea.ru/upload/sveden-new/11.03.02\\_ISS\\_2024/rpd\\_11.03.02\\_ISS\\_2024.pdf](https://www.mirea.ru/upload/sveden-new/11.03.02_ISS_2024/rpd_11.03.02_ISS_2024.pdf) (дата обращения: 20.09.2024).
- Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3. Электричество и магнетизм. М.: АСТ, 2019. 304 с.
- Young Hugh D. Sears and Zemansky's university physics: with modern physics. 13th ed. San Francisco: Addison-Wesley, 2012. 1598 p.
- Ohanian Hans C. Physics for Engineers and Scientists. 3rd ed. New York City: W. W. Norton & Company, 2007. 808 p.
- Serway Raymond A. Physics for Scientists and Engineers with modern physics. 7th. ed. Boston: Brooks Cole Cengage Learning, 2014. 1622 p.



УДК 378.147  
DOI

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОГО ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

<sup>1</sup>Савельева Н.Н., <sup>2</sup>Минин М.Г.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень,  
e-mail: nnsavelieva@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО НИ «Томский политехнический университет», Томск,  
e-mail: minin.mg@tpu.ru

Цель работы – изучить эффективность применения гибридной технологии обучения в техническом вузе. Методом исследования стал теоретико-методологический анализ на основе изучения и логического обобщения научных работ в области гибридного обучения и изучения образовательного процесса на кафедре «Нефтегазовое дело» в Тюменском индустриальном университете. В работе исследуется гибридное обучение при подготовке студентов по направлению 21.03.01 Нефтегазовое дело в Тюменском индустриальном университете на кафедре «Нефтегазовое дело». Анализируется дидактическая основа через принципы, методы, формы гибридного обучения будущих нефтяников. Актуализируются педагогические условия ее эффективного применения при подготовке будущих нефтяников. Рассматриваются компетенции преподавателей и студентов, достаточные для организации гибридного обучения. Выявлены достоинства и недостатки гибридного обучения. Главным преимуществом гибридного обучения определена возможность построения индивидуального образовательного маршрута. Реализация и изучение процесса подготовки будущих нефтяников на кафедре «Нефтегазовое дело» Тюменского индустриального университета показали, что при всех достоинствах и недостатках гибридной технологии остается много вопросов относительно ее эффективности и удовлетворенности ею преподавателей и обучающихся. Необходимы дополнительные исследования для определения условий организации образовательного процесса в целях эффективной подготовки будущих нефтяников в техническом вузе с использованием гибридного обучения.

**Ключевые слова:** гибридное обучение, онлайн-обучение, дистанционное обучение, образование инженеров

## EFFICIENCY OF USING HYBRID TECHNOLOGY IN A TECHNICAL UNIVERSITY

<sup>1</sup>Savelieva N.N., <sup>2</sup>Minin M.G.

<sup>1</sup>Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: nnsavelieva@yandex.ru;

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: minin.mg@tpu.ru

The purpose of the work is to study the effectiveness of using hybrid technology in a technical university. The methods of the study were theoretical and methodological analysis based on the study and logical generalization of scientific papers in the field of hybrid learning and the study of the educational process at the Department of Oil and Gas Business at the Tyumen Industrial University. The hybrid training of students in the direction «Oil and Gas Business» at the Tyumen Industrial University at the Department of Oil and Gas Business is studied. The didactic basis is analyzed through the principles, methods, forms of hybrid training of future oil workers. The pedagogical conditions for its effective use in the training of future oil workers are updated. The competencies of teachers and students sufficient for organizing hybrid training are considered. The advantages and disadvantages of hybrid training are identified. The main advantage is the ability to build an individual educational route. The implementation and study of the process of training future oil workers at the Department of Oil and Gas Engineering of the Tyumen Industrial University showed that with all the advantages and disadvantages of hybrid technology, there are many questions regarding their effectiveness and satisfaction of teachers and students. Additional research is needed to clarify many factors such as how to better organize the educational process for the effective training of future oil workers in a technical university using hybrid training.

**Keywords:** hybrid learning, online learning, distance learning, engineering education

### Введение

Во время пандемии образовательный процесс пришлось быстро перестраивать с офлайн-обучения на онлайн-обучение. Преподавателями было разработано огромное количество цифрового контента для качественного ведения дистанционных лекций и практических занятий. По окончании пандемии образовательный процесс вернулся в учебные заведения, но опыт

реализации онлайн-обучения продолжает использоваться преподавателями в профессиональных программах и курсах. Конечно, преподавателям требуется дополнительная подготовка в целях поддержки учебного процесса своих курсов для онлайн-обучения. Но дидактическое обеспечение курса в образовательных онлайн-программах расширяет студентам доступ к учебным материалам в различных форматах (таких

как презентации, конспекты лекций, видео и др.). В результате данного опыта родилась гибридная технология обучения, совмещающая онлайн- и офлайн-обучение.

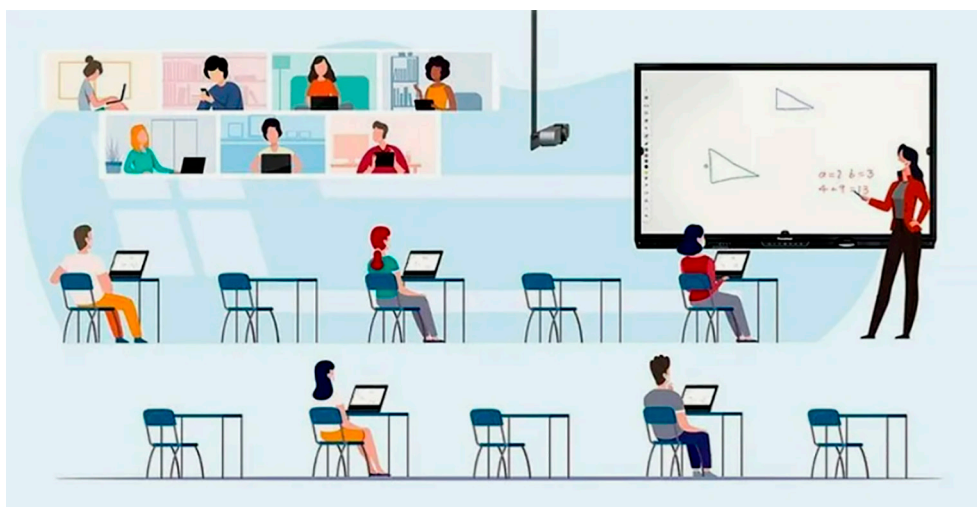
Гибридная технология обучения имеет много преимуществ и возможностей. Студенту предоставляется возможность присутствовать на аудиторных занятиях онлайн или офлайн. Можно сочетать в образовательном процессе синхронное и асинхронное обучение. Конечно, для технического оснащения гибридного обучения требуются ноутбук с камерой, микрофоны для участников образовательного процесса, доступ к высокоскоростному интернету. Студенты должны посещать занятия лично, и это они подтверждают посредством видео обучающегося на видеоконференц-связи. Студент должен иметь возможность следить за лекцией, задавать вопросы преподавателю и взаимодействовать с другими обучающимися. Хорошее качество гибридного обучения можно обеспечить применением активных педагогических технологий.

На кафедре «Нефтегазовое дело» Тюменского индустриального университета обычно проходят обучение студенты из разных городов Ханты-Мансийского автономного округа, Томской области и даже других областей России, которые уже работают на предприятиях нефтегазового сектора, — они хотят повысить свою квалификацию, получая новые знания. Молодые специалисты заинтересованы в выстраивании персонализированного маршрута обучения для личного карьерного роста. Гибридное обучение расширяет возможности студентов участвовать в образовательных программах. Обучающиеся либо лично присутствуют

на занятиях, либо занимаются удаленно — в зависимости от местонахождения или загруженности на производстве. Гибридное обучение позволяет улучшить возможности обучения для удаленных слушателей курсов и гибко строить образовательный процесс [1]. Исследователи профессионального образования отмечают, что сочетание офлайн- и онлайн-обучения приобретает все большее распространение [2], поскольку обучение длиною в жизнь становится все более востребованным в связи с быстрой сменой технологий и цифровой трансформацией промышленности.

Вспышка пандемии COVID-19 привела к ограничениям студентов и преподавателей, карантин в университетах обусловил ускоренное внедрение информационных технологий в образовательный процесс. Также были внедрены новые технологии обучения, чтобы обеспечить лучшие возможности в сфере образования, расширив возможности участия обучающихся путем выбора офлайн- или онлайн-обучения (рисунок). Одновременно широкое внедрение получило преимущественно онлайн-обучение. В результате внедрения дистанционного обучения стало понятно, что для эффективного освоения компетенций требовалось нечто большее, чем бесконечные онлайн-лекции. Безусловно, новые подходы, предлагаемые гибридной моделью, решают много проблем удаленного обучения, но необходимо изучить его влияние на студентов в процессе длительного применения [3].

**Цель исследования** — изучить, как влияет гибридное обучение на формирование компетенций у студентов на кафедре «Нефтегазовое дело» в ТИУ.



*Гибридное обучение*

### Материал и методы исследования

Методом исследования стал теоретико-методологический анализ на основе изучения и логического обобщения научных работ в области гибридного обучения и изучения образовательного процесса при гибридном обучении на кафедре «Нефтегазовое дело» Тюменского индустриального университета. Базисом для исследования явились основы цифровой трансформации образования.

### Результаты исследования и их обсуждение

Традиционное различие между офлайн-обучением и онлайн-обучением эволюционировало с годами. Постепенное развитие интернет-сетей, увеличение возможностей компьютерной техники значительно улучшили возможности синхронной и асинхронной коммуникации в процессе обучения, предоставив возможности для повышения интерактивности и эффективности совместной работы. Интернет позволил общаться с людьми по всему миру, обладать большим количеством профессиональной информации, дал возможность специалистам учиться непрерывно без отрыва от производства [4], имея новые возможности для получения образования, профессионально самосовершенствоваться в соответствии со своими способностями, желаниями и компетенциями, выстраивать индивидуальную траекторию профессионального роста.

Гибридное обучение в Тюменском индустриальном университете в настоящее время организовано так, чтобы студенты в зависимости от собственной загруженности и удаленности могли посещать занятия либо офлайн, либо онлайн посредством видеосвязи или конференцсвязи. Еще одним компонентом образовательного процесса гибридного обучения являются массовые открытые онлайн-курсы (МООК), созданные преподавателями университета и запускаемые на платформе ТИУ.

Обычно синхронное освоение новых курсов проходит во время аудиторных занятий. Они проводятся по расписанию, к очным занятиям студенты могут подключиться удаленно, используя видео-конференцсвязь. МООК же позволяют организовать асинхронное участие. Обучающиеся могут проходить освоение курса в собственном темпе в течение заданных временных рамок. Такой подход к организации учебного процесса предлагает множество вариантов реализации студентами успешного обучения в вузе.

Отличительной чертой гибкой гибридной модели является определение четырех компонентов, которые формируют дизайн всего процесса обучения.

Первый: обучающийся самостоятельно выбирает темп обучения.

Второй: разные пути участия в образовательном процессе приводят к одинаковому результату – качественному формированию компетенций.

Третий: имеется возможность неоднократного использования учебных материалов.

Четвертый: гибкий дизайн курсов.

Гибкий дизайн предполагает множественные пути участия студентов в образовательном процессе. Единое учебное пространство связывает обучающихся, находящихся непосредственно в аудитории и удаленно. При присутствии асинхронного обучения необходимо создать дидактическое обеспечение МООК. Все это способствует результативной индивидуальной или совместной работе и большему количеству учебных впечатлений студента под руководством преподавателя. Количество и качество посещений студентом (когда и как он посещает) занятий определяется в ходе курса самим обучающимся.

Рассмотрим организацию учебного процесса на направлении 21.03.01 Нефтегазовое дело профиль «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти» в Тюменском индустриальном университете на кафедре «Нефтегазовое дело». Весь курс любой дисциплины состоит из лекций, практических работ и итоговой аттестации в виде экзамена или зачета. Организация учебного пространства на лекциях и практических работах не особенно отличается от очного обучения. Например, при гибридном обучении занятие может начаться с разминочного задания (опроса, викторины, самооценки или иного), за которым последует лекция преподавателя. Следующий шаг преподавателя заключается в демонстрации заранее записанной короткой презентации, которую можно посмотреть в классе синхронно или асинхронно онлайн. Затем студенты участвуют в групповом обсуждении в аудитории в онлайн- или офлайн-формате. Занятие заканчивается подведением итогов преподавателем совместно со студентами. Обеспечение равного опыта для студентов, обучающихся асинхронно онлайн, требует организации ключевых мероприятий, что предполагает либо более раннее начало для этих учащихся, либо поздние автоматизированные опросы или ознакомление с результатами обсуждения.

Дидактическая основа образовательного процесса гибридного обучения формируется дидактическим обеспечением в виде учебных пособий, методических указаний, мультимедийных лекций, видеолекций, созданных автоматизированных опросов, тестов и другого диагностического материала. При организации гибридного обучения используются различные методы и формы обучения будущих нефтяников, как и для офлайн-обучения.

Гибридная технология – это инновационное решение, но особое внимание следует уделять педагогическим решениям для вовлечения учащихся посредством активного обучения. Организационные педагогические условия включают в себя информационно-образовательную среду поддержки образовательного процесса Eduson [5, 6], активно используемую в Тюменском индустриальном университете для организации и создания дидактического обеспечения учебного процесса. Дидактические педагогические условия включают в себя видео и мультимедийные лекции, методические указания для выполняемых студентами практических работ, семинаров, коллоквиумов и др. Психолого-педагогические условия заключаются в создании комфортных условий для получения знаний, организации мер педагогического взаимодействия для развития личности и формирования компетенций.

Для мотивации студентов предлагается использовать следующие методы:

- методы активного обучения, такие как викторины, семинары, коллективные рабо-

ты и выполнение проектов, решение реальных производственных задач;

- самостоятельные работы, домашние задания, участия в онлайн-играх;
- метод «перевернутого класса»;
- видеоролики, геймификацию, симуляции, тренажеры, интерактивный контент;
- создание контента обратной связи.

Внедрение открытого гибридного обучения требует, чтобы преподаватель и студенты технически были обеспечены для взаимодействия онлайн [7]. Преподаватель должен построить свой курс с четким набором целей для обеспечения хорошего качества обучения. Студент должен выстраивать персональную траекторию развития самостоятельно. Но свобода выбора обучающихся в отношении посещаемости может непреднамеренно привести к пропуску лекций или практических занятий. Студенты должны обладать дисциплиной и ответственностью. Преподаватель и студент должны иметь отличные цифровые компетенции, обладать информационной коммуникацией, которые важны для успешного усвоения курсов [8, 9, 10].

При переходе от традиционного к гибриднему обучению могут возникнуть сложности и у преподавателя, и у студентов из-за недостаточной цифровой грамотности и эмоционального неприятия новой формы обучения. Поэтому для успешного внедрения гибридного обучения необходимо проводить повышение квалификации преподавательского состава для формирования лояльности к новой форме обучения и приобретения недостающих цифровых компетенций.

**Таблица 1**

Результаты удовлетворенности студентов условиями, содержанием, организацией и качеством преподавания дисциплин (модулей) и практик

№ п/п	Критерии оценки	Средняя удовлетворенность
1	Содержание, актуальность информации	4,89
2	Изложение материала	4,1
3	Использование разных форм проведения занятий	4,01
4	Объективность оценивания знаний обучающихся	4,2
5	Стремление вызвать и поддержать интерес обучающихся к предмету	3,9
6	Умение побуждать обучающихся к активной работе	4,1
7	Заинтересованность в успехах обучающихся	4,92
8	Организация самостоятельной работы	4,88
9	Доброжелательность и вежливость по отношению к обучающимся	4,98
10	Профессионализм и культура речи	4,85
	Удовлетворенность в целом	4,48 (89,6%)

Таблица 2

Результаты оценки удовлетворенности педагогических и научных работников условиями и организацией образовательной деятельности, качеством подготовки обучающихся

№ п/п	Критерии оценки	Средняя удовлетворенность
1	Структура и содержание образовательной программы	4,88
2	Качество учебно-методического обеспечения ОПОП	4,65
3	Наполненность ЭБС методическими материалами, учебниками и иным для достижения обучающимися предполагаемых результатов обучения по профилю реализуемой программы	4,3
4	Доступность ЭОР в электронно-образовательной среде университета (ЭИОС) из любой точки, обеспеченной Интернетом, качество фондов библиотеки	4,2
5	Качество функционирования ЭИОС	4,51
6	Материально-техническое обеспечение образовательной деятельности	4,88
7	Качество формирования у выпускников компетенций, установленных ОПОП	4,86
8	Включенность во внутривузовскую систему оценки качества подготовки обучающихся	4,91
9	Условия осуществления образовательной деятельности	4,84
10	Организация образовательного процесса в целом	4,55
	Удовлетворенность в целом	4,89 (97,8%)

Опрошены преподаватели, участвующие в реализации образовательной программы.

Для оценки результатов внедрения гибридной технологии в образовательный процесс Тюменского индустриального университета был проведен опрос среди студентов с целью определения удовлетворенности условиями, содержанием, организацией и качеством преподавания дисциплин (модулей) и практик по направлению «Нефтегазовое дело» и преподавателей с целью определения удовлетворенности гибридным обучением, формами, методами и коммуникациями по профилю «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти». Результаты опросов приведены в таблицах 1, 2.

### Заключение

Реализация подготовки студентов на кафедре «Нефтегазовое дело» ТИУ показала, что при всех достоинствах и недостатках гибридной технологии остается много вопросов относительно ее эффективности и удовлетворенности ею преподавателей и обучающихся. Необходимы дополнительные исследования для определения условий организации образовательного процесса в целях эффективной подготовки будущих нефтяников в техническом вузе с использованием гибридного обучения.

Гибридное обучение появилось в результате совмещения онлайн- и офлайн-форматов обучения при реализации об-

разовательного процесса студентов, непосредственно присутствующих на занятиях либо находящихся в другом месте. Электронная образовательная среда Тюменского индустриального университета позволяет полностью обеспечить всех обучающихся дидактическим материалом по изучаемым дисциплинам. Студент может неоднократно обращаться к лекционным материалам, пособиям и другому материалу. В рамках электронной образовательной среды можно получить аудио- и видеоконсультации, провести тестовые опросы, контрольные работы и сдать итоговой аттестации по видео-конференц-связи. По результатам проведенного опроса можно увидеть общую удовлетворенность студентов и преподавателей образовательным процессом с применением гибридного обучения.

### Список литературы

1. Алешковский И.А., Гаспаршвили А.Т., Крухмалева О.В. Гибридная модель обучения в вузах как современный тренд цифровой трансформации образования // Устойчивое развитие России: правовое измерение: Сборник докладов X Московского юридического форума. 06–08 апреля 2023 года. М.: Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина (МГЮА), 2023. С. 226-230.
2. Благодаров А., Арутюнян Э. Смешанная или гибридная система образования в вузе как инновационная модель // Современные тенденции развития общества: образование, коммуникация, психология: Сборник по итогам научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 04 декабря 2021 года. Ростов-на-Дону: Южно-Российский институт управления – филиал ФГБОУ ВО РАНХиГС, 2022. С. 18-21.

3. Молокова Е.Л. Теория и методология анализа гибридной модели координации стейкхолдеров высшего образования // Бизнес. Образование. Право. 2018. № 4(45). С. 251-257. DOI: 10.25683/VOLBI.2018.45.442.
4. Волобуева Т.Б. Моделирование непрерывного гибридного обучения педагогических кадров // Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров. 2017. № 4(33). С. 20-26.
5. Белоусова Н.Н., Савельева Н.Н. Цифровые ресурсы как средство формирования профессиональных компетенций студентов техникума // Мир науки. Педагогика и психология. 2021. Т. 9, № 1. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/01PDMN121.pdf> (дата обращения: 15.06.2024).
6. Хаперская А.В., Минин М.Г. Разработка метода обучения инвалидов с применением онлайн-платформ на основе имитационного моделирования // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 8. С. 198-204. DOI: 10.17513/snt.39755.
7. Боголюбова М.Н., Савельева Н.Н. Организация обучения и мониторинга знаний студентов на базе WebCT // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. 2008. № 15. С. 28-30.
8. Гильманов А.С. Информационная модель системы поддержки дистанционного образования, использующей гибридные технологии // Вестник Тюменского государственного университета. 2007. № 5. С. 115-118.
9. Белгородский В.С., Лаврова О.М., Гусейнова С.Н., Исаева Т.А., Кобраков К.И., Мовсумзаде Э.М., Гусейнов Ф.И. Практико-ориентированные модели инженерного образования // История и педагогика естествознания. 2022. № 1. С. 65-70. DOI: 10.24412/2226-2296-2022-1-65-70.
10. Савельева Н.Н., Шедь С.Н., Колосов Е.А. Формирование профессиональных компетенций у будущих бакалавров нефтяников посредством цифровых образовательных ресурсов // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11-2. С. 395-400. DOI: 10.17513/snt.38395.

УДК 371.21:378.4/.14  
DOI

## СМЕШАННОЕ ОБУЧЕНИЕ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ И ЭМПИРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ CABLS

Салехова Л.Л., Данилов А.В., Зарипова Р.Р., Фазлиахметов Т.Р.

*ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
Казань, e-mail: salekhova2009@gmail.com, tukai@yandex.ru,  
rinata-z@yandex.ru, fazliahmetovtimur@yandex.ru*

Цель исследования – представить результаты комплексного подхода к теоретической разработке моделей смешанного обучения. Эффективность смешанного обучения как новой формы обучения доказана на практике, ее широко используют в образовательном процессе в школе и вузе, поскольку она удобна и экономична. Однако интеграция обучения, опосредованного технологиями, с обучением в аудитории делает образовательный процесс все более сложным, требуется его теоретическое переосмысление. В первой части статьи на основе анализа литературы выделены основные теоретические подходы к обоснованию смешанного обучения, включая пирамидальную структуру Ши, октогональную модель Хана и модель Сообщества Исследователей. Особое внимание уделено описанию теории сложных адаптивных систем, на основе которой Ванг с соавт. разработали комплексную адаптивную систему смешанного обучения, состоящую из шести взаимосвязанных компонентов: обучающихся, преподавателей, содержания, технологий, поддержки и образовательного учреждения. Во второй части статьи на основе теоретической модели комплексной адаптивной системы смешанного обучения с помощью метаанализа изучены эмпирические исследования отечественных авторов, проиндексированные в базе данных e-library. Результаты свидетельствуют о том, что большинство работ сосредоточено на исследовании таких компонент системы смешанного обучения, как обучающиеся, предметное содержание и использование информационно-коммуникационных технологий. Взаимодействия обучающихся с содержанием обучения и обучающихся с информационно-коммуникационными технологиями являются наиболее изученными. Выявлен неиспользованный потенциал предоставления поддержки обучения в моделях смешанного обучения, продвижения институционального участия и развития нелинейных взаимосвязей подсистем. Результаты исследования конкретизируют направления дальнейшей работы по совершенствованию практики смешанного обучения в высшей и средней школе на основе методологии сложных систем.

**Ключевые слова:** смешанное обучение, теоретическое обоснование, теория сложных адаптивных систем, комплексная адаптивная система смешанного обучения, CABLS

## BLENDED LEARNING: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THEORETICAL APPROACHES AND EMPIRICAL STUDIES BASED ON CABLS

Salekhova L.L., Danilov A.V., Zaripova R.R., Fazliakhmetov T.R.

*Kazan (Volga Region) Federal University,  
Kazan, e-mail: salekhova2009@gmail.com, tukai@yandex.ru,  
rinata-z@yandex.ru, fazliahmetovtimur@yandex.ru*

The aim of the study is to present the results of a comprehensive approach to the theoretical development of blended learning models. The effectiveness of blended learning as a new form of education has been proven in practice, as it is convenient and cost-effective, and is widely used in the educational process in schools and universities. However, the integration of technology-mediated learning with classroom learning makes the educational process increasingly complex, requiring theoretical rethinking. In the first part of the article, based on literature analysis, the main theoretical approaches to the justification of blended learning are highlighted, including Shi's pyramidal structure, Khan's octagonal model, and the Community of Inquiry model. Special attention is given to the description of the theory of complex adaptive systems, on the basis of which Wang and co-authors developed a Complex Adaptive Blended Learning System, consisting of six interconnected components: learners, instructors, content, technology, support, and educational institution. In the second part of the article, based on the theoretical model of the Complex Adaptive Blended Learning System, a meta-analysis was used to study empirical research by domestic authors indexed in the e-library database. The results indicate that most studies focus on exploring such components of blended learning as learners, subject content, and the use of ICT. Interactions of learners with the learning content and learners with ICT are the most studied. An untapped potential has been identified in providing learning support in blended learning models, promoting institutional involvement, and developing non-linear interconnections of subsystems. The results of the study specify directions for further work on improving the practice of blended learning in higher and secondary education based on the methodology of complex systems.

**Keywords:** blended learning, theoretical rationale, theory of complex adaptive systems, Complex Adaptive Blended Learning System, CABLS

### Введение

Эффективность смешанного обучения как новой формы обучения доказана на практике, оно приобрело огромный размах во время пандемии COVID-19. Сегодня смешанное обучение широко используется в образовательном процессе в школе и вузе, поскольку оно удобно и экономически выгодно. Однако интеграция обучения, опосредованного технологиями, с обучением в аудитории сделала образовательный процесс более сложным.

С одной стороны, внедрение в образовательный процесс цифровых технологий, таких как онлайн-платформы, мобильные приложения и социальные сети, привело к значительным изменениям в учебной деятельности обучающихся, учебной программе и межличностных отношениях в учебной среде. Благодаря цифровым технологиям появились новые формы обучения, которые позволяют студентам изучать материал в любое время и в любом месте (онлайн-курсы, дистанционное обучение, микрообучение и т.д.). Цифровые технологии изменили виды взаимодействия между преподавателями и студентами, общение осуществляется через электронную почту, мессенджеры и видеоконференции, студенты могут получать обратную связь и поддержку в режиме реального времени. Цифровые технологии повлияли на формирование учебных групп, дав возможность студентам работать вместе над проектами и заданиями, независимо от их географического местоположения.

С другой стороны, сами цифровые технологии также подверглись влиянию этих изменений, что привело к необходимости их постоянного совершенствования с учетом образовательного контекста. Преподавателям необходимо постоянно обновлять свои навыки и знания, чтобы разрабатывать новые методы онлайн-обучения, обратной связи, оценки и контроля качества образования, которые будут учитывать новые формы обучения и взаимодействия.

Смешанное обучение сегодня массово применяется в отечественных образовательных учреждениях. В научных статьях обсуждаются такие распространенные модели, как «Ротация станций», «Ротация лабораторий», «Индивидуальная траектория», «Перевернутый класс», «Гибкий план», «Виртуальная модель», «Автономная группа» [1].

Однако отечественных исследований, посвященных теоретическому обоснованию этих моделей, мало, поэтому организация и реализация смешанного обучения носит экспериментальный характер. Сле-

довательно, существует проблема обоснования фундаментальных подходов к разработке теоретических моделей смешанного обучения.

**Цель исследования** – представить результаты комплексного подхода к теоретической разработке моделей смешанного обучения.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: 1) выделить и описать основные теоретические подходы к обоснованию моделей смешанного обучения на основе анализа литературы; 2) провести метаанализ эмпирических исследований отечественных авторов, проиндексированных в базе данных e-library, по методологии теоретической модели комплексной адаптивной системы смешанного обучения.

### Материалы и методы исследования

Термин «смешанное обучение» широко используется в образовательной практике и в теоретических исследованиях. Понятие «смешанное обучение» определено и переопределено различными учеными, но ни одно из них не дает полного представления о структуре модели смешанного обучения, и они как разные компоненты работают вместе на достижение целостного результата. В рамках данного исследования, следуя Грахаму и соавт., под смешанным обучением понимается педагогическая модель, которая интегрирует два основных подхода: традиционный, основанный на личном взаимодействии между студентом и преподавателем, и компьютерно-опосредованный, который использует цифровые технологии для обеспечения образовательного процесса [2].

Материалом для изучения являлись статьи зарубежных и отечественных ученых, посвященные теоретическому обоснованию моделей смешанного обучения. В качестве метода выступал метаанализ, который используется для объединения результатов нескольких независимых исследований по одной и той же проблеме. Метаанализ включал в себя: определение цели; поиск и отбор всех релевантных исследований по заданной проблематике, которые соответствуют критериям включения; сбор данных из отобранных исследований; статистический анализ; анализ полученных результатов, определение их значимости.

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ литературы показал, что в основе разработки моделей смешанного обучения лежат различные теоретические подходы, опишем основные из них ниже.



Ши (Shea) предложил пирамидальную структуру модели, которая базируется на онтологических и эпистемологических предположениях о природе знаний. В структуре модели последовательно разворачиваются теории обучения, отражающие философские основы, дополнительные педагогические подходы, стратегии обучения и в конечном счете конкретные учебные мероприятия. Данный подход акцентирует внимание на одном из ключевых аспектов смешанного обучения – проектировании учебного процесса, что является важной составляющей эффективного образования [3].

Также в качестве методологического базиса при разработке программ смешанного и электронного обучения используют октогональную модель, предложенную Ханом (Khan). Октогональная модель включает в себя восемь взаимосвязанных компонентов: педагогический, технологический, интерфейсный, оценочный, управленческий, ресурсно-поддерживающий, этический и институциональный [4]. Как отмечает отечественный ученый А. Назаренко, идентификация этих компонентов позволяет раскрыть масштаб смешанного обучения, однако она не учитывает сложные и динамичные взаимосвязи между ними, а также их совместную эволюцию в процессе реализации смешанного обучения [5].

Модель Сообщества Исследователей (CoI), разработанная Гаррисоном, Андерсоном и Арчером (Garrison, Anderson and Archer), является еще одним теоретическим фундаментом, который дает возможность отразить динамику онлайн-обучения [6]. Разработчики моделей на основе CoI фокусируются на трех основных элементах смешанного обучения и их взаимосвязях, а именно, между когнитивным присутствием, социальным присутствием и педагогическим присутствием. Когнитивное присутствие отражает то, как обучающиеся могут конструировать понятия и смыслы, развивать глубокое понимание предмета через критическое мышление, анализ и рефлексию. Когнитивное присутствие включает в себя способность идентифицировать и оспаривать предположения, исследовать идеи и развивать хорошо обоснованные аргументы. Социальное присутствие относится к чувству сообщества и связи между самими обучающимися и преподавателем в онлайн-обучении. Социальное присутствие акцентируется на способности проецировать себя как «реального человека» в онлайн-пространстве, чувствовать себя комфортно, делаясь идеями и перспективами, и участвовать в коллаборативных образовательных мероприятиях. Педагогическое

присутствие описывает роль педагога-инструктора в фасилитации процесса обучения, создании некоторого сообщества, предоставлении руководства и поддержки для развития критического мышления и рефлексии обучающихся [6].

Каждый из перечисленных теоретических подходов к моделированию смешанного обучения выделяет собственные аспекты. Однако смешанное обучение все еще кажется гигантской головоломкой, состоящей из переплетенных разрозненных частей. Ванг, Хан, Янг (Yuping Wang, Xibin Han and Juan Yang) считают, что эту трудность можно преодолеть, если в основу изучения и разработки моделей смешанного обучения положить теорию сложных адаптивных систем [7].

Комплексные адаптивные системы отличаются способностью к изменению, перестройке и развитию, что позволяет им сохранять свою структуру и функционировать в условиях изменяющейся среды. Концепция сложных адаптивных систем играет важную роль в исследованиях по физике, химии и математике, помогая понять динамические и нелинейные системы, такие как нейронные сети, экосистемы, галактики и социальные системы.

Комплексные адаптивные системы представляют собой живые, открытые системы, которые обмениваются ресурсами, энергией или информацией через свои границы и используют этот обмен для поддержания своей целостности и адаптации к новым условиям. В основе теории сложных адаптивных систем лежит концепция «края хаоса», предложенная Уолдропом в 1992 г. Согласно этому автору, «все сложные системы каким-то образом приобрели способность приводить порядок и хаос в особый баланс. Точка баланса – часто называемая «краем хаоса» (the edge of chaos) – это место, где компоненты системы никогда полностью не закрепляются, но и не растворяются в турбулентности» [8]. Таким образом, концепция «края хаоса» подчеркивает важность динамического баланса между порядком и хаосом в сложных адаптивных системах, что имеет значительные импликации для понимания их поведения и эволюции.

Ученые выделили пять фундаментальных характеристик сложной адаптивной системы: сложность, самоорганизация, адаптивность, динамичность и способность к совместной эволюции.

Сложность описывает природу системы, которая состоит из множества взаимосвязанных подсистем, взаимодействующих между собой нелинейно. Каждая из этих подсистем, в свою очередь, включает в себя

свои собственные подсистемы, образуя иерархическую структуру. Сложные системы имеют тенденцию организовываться в «уровни» интеграции, так что каждая система является составной частью более крупной системы, которая, в свою очередь, является частью еще более масштабной системы, и так далее. На каждом уровне каждая система одновременно сохраняет свою автономность и интегрируется с системами на своем уровне, а также с системами более высокого и низкого уровней [9].

Самоорганизация включает в себя два аспекта: взаимодействие подсистем через обратную связь и итерацию, чтобы породить новые порядки или шаблоны отношений между внутренними элементами; спонтанное возникновение нового порядка не является налагаемым внешними силами.

Адаптивность иллюстрирует процесс, который часто инициируется способностью систем формировать новые правила из комбинаций старых правил и новой информации из окружающей среды. Этот процесс является естественным отбором в эволюции, в котором выживают наиболее приспособленные [9].

Динамизм отражает способность сложных адаптивных систем быть на грани хаоса, то есть быть стабильными для поддержания своей структуры, но чувствительными к внешним изменениям, чтобы претерпевать быстрые и непредсказуемые изменения. Динамичность считается идеальным состоянием живой системы: быть стабильной, но не статичной, трансформирующейся, но не хаотичной.

Способность к совместной эволюции относится к взаимодействию подсистем друг с другом, формируя ландшафт приспособленности, который постоянно меняется по мере их изменения. Основное понятие, лежащее в основе концепции совместной эволюции, это взаимное и множественное взаимодействие между подсистемой и системами вокруг нее, приводящее к взаимной адаптации [9].

Взяв за основу теорию сложных адаптивных систем Ванг, Хан, Янг (Yuping Wang, Xibin Han and Juan Yang) разработали теоретическую модель под названием Complex Adaptive Blended Learning System (CABLS) [7]. Система включает в себя шесть следующих компонентов: обучающийся, учитель/преподаватель, содержание обучения, цифровые технологии, поддержка обучения, образовательное учреждение. Эти шесть подсистем нелинейным образом взаимодействуют между собой, но в то же время каждая из них имеет свои собственные характеристики и внутренние движущие силы.

Обучающиеся в CABLS благодаря динамическому адаптивному процессу изменений в мультимодальной учебной среде становятся активными участниками обучения. Преподаватели/учителя обретают новые многопрофильные профессиональные навыки и развиваются вместе с обучающимися.

Содержание обучения, с которым взаимодействуют студенты при смешанном обучении, приобретает глубину и привлекательность благодаря постоянному взаимодействию с другими студентами, преподавателями, технологиями, поддержкой обучения и образовательным учреждением. Это взаимодействие создает уникальную среду, которая стимулирует активное участие и сотрудничество, а также позволяет студентам развивать свои навыки общения, лидерства и командной работы.

Поддержка в структуре CABLS выдвигается на передний план. Согласно Ванг, Хан, Янг, поддержка обучения может быть двух типов: академическая поддержка и техническая поддержка.

Академическая поддержка ориентирована на оказание помощи обучающимся в разработке эффективных стратегий обучения, включая управление временем и навыки сотрудничества.

Техническая поддержка, в свою очередь, направлена на помощь студентам в улучшении их знаний о технологических инструментах и умениях использовать эти инструменты для выполнения конкретных учебных задач [7]. Эффективная поддержка требует целенаправленного подхода на уровне курса, ориентированного на конкретные цели. Для достижения этого механизмы поддержки обучения должны быть спроектированы с учетом потребностей обучающегося, опираясь на опыт преподавателя и ресурсов образовательного учреждения.

Таким образом, подход CABLS отличается от других теоретических подходов к проектированию моделей смешанного обучения, поскольку делает акцент на взаимозависимости и динамическом взаимодействии между подсистемами комплексной адаптивной системы смешанного обучения.

Д.А. Драндров и соавт. в аналитической статье [10] приходят к выводу, что в настоящее время не существует теоретически обоснованной методологии разработки и применения смешанного обучения в вузе и школе, поэтому применение CABLS может быть полезным.

Для достижения цели исследования также были изучены эмпирические исследования отечественных ученых, представленные в статьях электронной базы данных e-library.

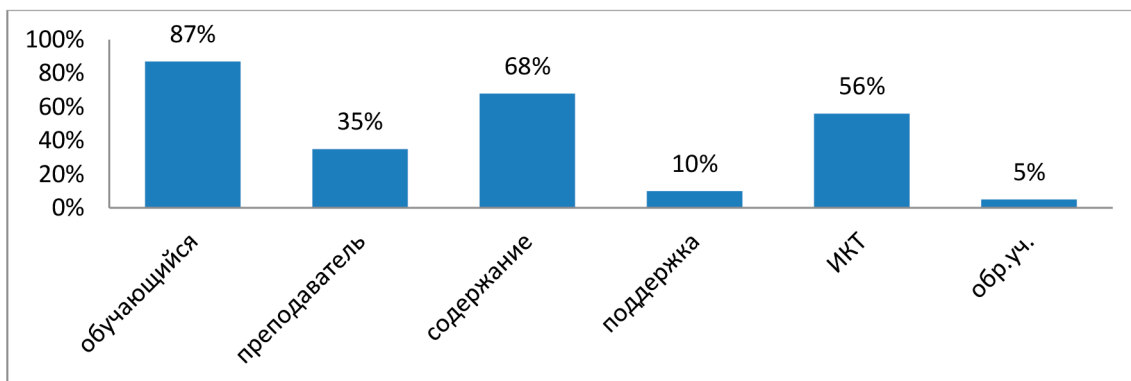


Рис. 1. Количество (в процентах) упоминаний каждой подсистемы в статьях

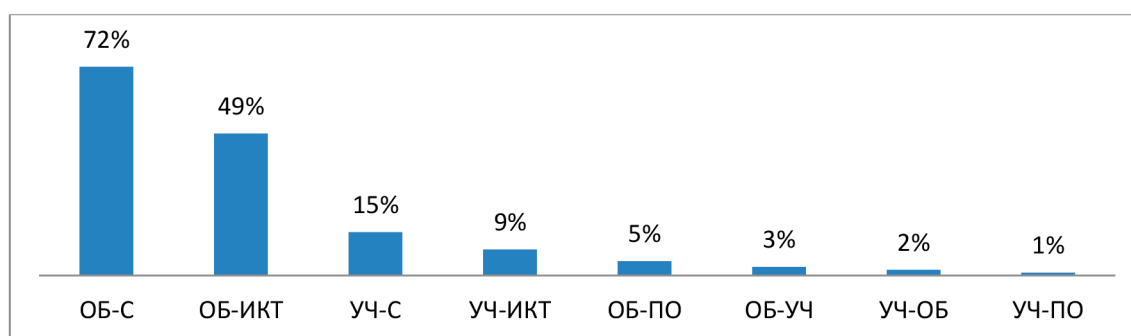


Рис. 2. Выделенные двойные взаимосвязи между подсистемами:  
 ОБ = Обучающийся; УЧ = Учитель; ИКТ = Технологии; С = Содержание;  
 ПО = Поддержка обучения; ОУ = Образовательное учреждение

Эта база данных была выбрана, поскольку она отечественная, доступная онлайн и содержит широкий спектр исследований, связанных с образованием. В результате поиска по ключевому словосочетанию «смешанное обучение» в заголовке журнальной статьи на платформе e-library были найдены 64 статьи, проиндексированные в период с 1 января по 24 июля 2024 г. Чтобы избежать предвзятости при поиске релевантных исследований, авторы независимо проводили поиски в базе данных, отбирали и исключали их на основе анализа полных текстов. Анализ был осуществлен по 64 источникам, отобранные 25 статей были одобрены всеми членами группы после тщательных обсуждений.

Модели смешанного обучения, описанные в статьях, анализировались на основе CABLS: идентифицировались компоненты и их взаимосвязи. Мы пришли к выводу, что ни одно из проанализированных исследований не было всеобъемлющим, в лучшем случае рассматривалось несколько подсистем CABLS.

На рис. 1, показан процент статей, в которых с позиции CABLS исследована каждая из компонент модели смешанного обучения.

Самое большое количество рассмотренных статей (87%) направлено на изучение и описание таких компонент, как обучающиеся, предметное содержание обучения (68%) и использование ИКТ (59%). Процент резко снижается, когда дело касается преподавателя или учителя (35%), образовательного учреждения (5%) и поддержки обучения (10%).

Между шестью подсистемами структуры CABLS существуют связи второго, третьего, четвертого и пятого порядков. С целью упрощения рассматривались только пятнадцать двойных связей. Однако в 25 проанализированных статьях удалось выделить только 8 взаимосвязей (рис. 2). Связь «обучающийся – содержание обучения» (ОБ-С) является наиболее исследуемой авторами, она обсуждается в 72% статей. Взаимосвязь «обучающийся – ИКТ» (ОБ-ИКТ) (49%) занимает второе место. Все другие связи недостаточно исследованы, причем наименьшее внимание уделяет-

ся взаимосвязи «учитель – поддержка обучения» (УЧ – ПО) (1%).

Анализ гистограмм показывает, что поддержка обучения остается недостаточно исследованной темой в рассмотренных статьях. Результаты, представленные на рис. 2, подтверждают данные, показанные на рис. 1. Вместе они описывают сравнительно полную картину текущего состояния смешанного обучения в отечественных вузах и школах за рассматриваемый период.

### Заклучение

Изучение литературы по смешанному обучению дало возможность выделить несколько фундаментальных теоретических подходов к разработке моделей смешанного обучения, одним из которых является CABLS. Модель CABLS позволяет выделять подсистемы в их взаимосвязи друг с другом как единое целое, в отличие от подходов, которые рассматривают только части смешанного обучения в изоляции и игнорируют его динамические качества. Метаанализ, основанный на структуре CABLS, не выявил эмпирических исследований, которые рассматривали бы следующие аспекты: взаимосвязи между обучающимися и преподавателями/учителями; влияние поддержки обучения на овладение содержанием; роль образовательного учреждения в формировании содержания обучения; влияние информационно-коммуникационных технологий на поддержку обучающихся. Метаанализ обнаружил неиспользованный потенциал и ключевые вопросы для дальнейших исследований, включая предоставление поддержки обучения, усиление институционального участия и изучение нелинейных

взаимосвязей между подсистемами в моделях смешанного обучения. Результаты исследования конкретизируют направления дальнейшей работы по теоретически обоснованному совершенствованию практики смешанного обучения в высшей и средней школе.

### Список литературы

1. Зеленко Н.В., Харламова К.В. Смешанное обучение: теория и практика // Технологическое образование. 2021. № 16. С. 37–42.
2. Graham C.R., Woodfield W., Harrison J.B. A framework for institutional adoption and implementation of blended learning in higher education // The Internet and Higher Education. 2013. Is.18. P. 4–14.
3. Shea P., Park H. A Ten-Year Review of Research through Co-Citation Analysis: Online Learning, Distance Learning, and Blended Learning // Online Learning. 2020. Vol. 24, Is. 2. P. 225–244.
4. Khan Badrul H., editor. Revolutionizing Modern Education through Meaningful E-Learning Implementation. IGI Global. 2016. DOI: 10.4018/978-1-5225-0466-5.
5. Nazarenko A. Blended learning vs. traditional learning: What works? (A case study research) // Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 200, Is. 22. P. 77–82. DOI: 10.1016/J.SBSPRO.2015.08.018.
6. Garrison D.R. E-Learning in the 21st Century: A Community of Inquiry Framework for Research and Practice (3rd Edition). London: Routledge/Taylor and Francis, 2017. 220 p.
7. Wang Y., Han X., Yang J. Revisiting the Blended Learning Literature: Using a Complex Adaptive Systems Framework // Educational Technology & Society. 2015. Vol. 18, Is. 2. P. 380–393.
8. Waldrop M.M. Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos. Simon and Schuster. 1992. 379 p.
9. Holland, John H., Complexity: A Very Short Introduction, Oxford, 2014. DOI: 10.1093/ACTRADE/9780199662548.001.0001.
10. Драндров Д.А., Драндров Г.Л. Смешанное обучение в основной образовательной школе: состояние проблемы и педагогические условия ее решения // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 9. С. 195–201. DOI: 10.17513/snt.39783.

УДК 37.013:372.8  
DOI

## ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ ШКОЛЬНИКОВ В ОБЛАСТИ ГЕОГРАФИИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОПАРКА ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВУЗА

Суворова А.И., Павлова Н.В.

ФГБОУ ВО «Шадринский государственный педагогический университет», Шадринск,  
e-mail: a-suvorova2011@mail.ru, natasha-navlova@yandex.ru

Цель исследования состоит в анализе и описании возможностей использования цифровой образовательной среды Технопарка универсальных педагогических компетенций имени Е.Л. Талалая для реализации практико-ориентированного обучения школьников в области географии в условиях обновленного Федерального государственного образовательного стандарта основного и среднего образования. Исходными материалами анализа стали материалы и оборудование Технопарка универсальных педагогических компетенций имени Е.Л. Талалая. В исследовании применялись также общие и частные методы исследования: анализ литературных источников, наблюдение, анализ и обобщение опыта работы учителей школы, преподавателей технопарков универсальных компетенций России. Авторы статьи обозначают проблему внедрения в географическое образование цифровых ресурсов и оборудования современных технопарков педагогических компетенций с целью реализации практико-ориентированного обучения школьников. В целях расширения возможностей построения образовательной траектории учащегося в области географии авторами работы выделены перспективные направления использования цифровой среды технопарка для достижения метапредметных и предметных результатов в области школьной географии; использования возможностей технопарка как центра развития исследовательских компетентностей школьников в области географического образования; использования цифровой образовательной среды для формирования профессиональных навыков обучающихся по географическим специальностям. Результаты исследования раскрывают функциональные возможности и направления использования цифровой образовательной среды, цифрового оборудования, инструментов и сервисов технопарка педагогических компетенций в современном школьном географическом образовании.

**Ключевые слова:** географическое образование, исследовательская деятельность, практико-ориентированное обучение, сопровождение школьников, цифровое оборудование, цифровая образовательная среда, технопарк

*Исследование выполнено при финансовой поддержке научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям деятельности вузов – партнеров ЮУрГГПУ и ШГПУ в 2024 году по теме «Цифровая среда Технопарка универсальных педагогических компетенций как инструмент для реализации практико-ориентированного обучения школьников в области биологии, экологии и географии в условиях обновленного ФГОС ООО, СОО» (16-383 от 02.05.2024 г.).*

## PRACTICAL-ORIENTED TRAINING OF SCHOOLCHILDREN IN THE FIELD OF GEOGRAPHY IN THE CONDITIONS OF THE TECHNOPARK OF PEDAGOGICAL COMPETENCIES OF THE UNIVERSITY

Suvorova A.I., Pavlova N.V.

Shadrinsk State Pedagogical University, Shadrinsk,  
e-mail: a-suvorova2011@mail.ru, natasha-navlova@yandex.ru

The purpose of the study is to analyze and describe the possibilities of using the digital educational environment of the E.L. Talalai Technopark of Universal Pedagogical Competencies for the implementation of practice-oriented teaching of schoolchildren in the field of geography in the conditions of the updated Federal State Educational Standard of basic and secondary Education. The materials and equipment of the E.L. Talalai Technopark of Universal Pedagogical Competencies became the initial materials of the analysis. The study also used general and specific research methods: analysis of literary sources, observation, analysis and generalization of the work experience of school teachers, teachers of technoparks of universal competencies in Russia. The authors of the article indicate the problem of introducing digital resources and equipment of modern technology parks of pedagogical competencies into geographical education in order to implement practice-oriented education of schoolchildren. To expand the possibilities of building a student's educational trajectory in the field of geography, the authors of the work identified promising areas for including the digital environment of the technopark: to achieve meta-subject and subject results in the field of school geography; using the capabilities of the technopark as a center for the development of research competencies of schoolchildren in the field of geographical education; use of the digital educational environment to develop professional skills of students in geographical specialties. The results of the study reveal the functionality and directions of using the digital educational environment, digital equipment, tools and services of the technopark of pedagogical competencies for modern school geographical education.

**Keywords:** geographical education, research activities, practice-oriented training, support for schoolchildren, technology park, digital equipment, digital educational environment

*The study was carried out with the financial support of research works in priority areas of activity of partner universities South Ural State Humanitarian Pedagogical University and Shadrinsk State Pedagogical University in 2024 on the topic "Digital environment of the Technopark of universal pedagogical competencies as a tool for implementing practice-oriented teaching of schoolchildren in the field of biology, ecology and geography in the context of the updated Federal State Educational Standard of basic general education, secondary general education" (16-383 dated 02.05.2024).*

### Введение

В системе российского образования за последнее десятилетие можно проследить значимые процессы обновления инфраструктуры образовательной среды, особенно на уровне среднего общего образования, среднего профессионального и высшего образования. Наиболее ощутимые изменения на сегодняшний день происходят в переоснащении информационно-коммуникационной инфраструктуры образовательных организаций, что в итоге должно привести к эффективному функционированию федеральной цифровой платформы. Новые факторы развития российского образования, отмеченные в проекте «Современная цифровая образовательная среда», направлены на решение проблем информатизации и цифровизации образования [1, 2].

Активно обсуждается эффективность использования современных технопарков, открытых в рамках комплексной программы «Учитель будущего поколения России». Так, в работах В.Е. Евдокимовой, А.Ю. Милинского, Н.Н. Устиновой внимание уделяется использованию цифровой образовательной среды технопарков педвузов в контексте преподавания физики и информатики [3, 4]. Опыт организации занятий по биологии, химии, географии в цифровой образовательной среде технопарков обобщен в работах А.А. Кемешевой, Н.Г. Семеновской, А.Л. Соловьёвой, М.А. Якунчева, Н.В. Шарыповой, К.О. Шориной [5, 6].

В то же время проблемой является отсутствие описания возможностей цифровой образовательной среды Технопарка для осуществления практико-ориентированного обучения школьной географии. Авторы считают, что в условиях цифровой среды технопарков педагогических компетенций вузов возможна реализация практико-ориентированного обучения школьников в области географии.

**Цель исследования:** анализ возможностей использования цифровой образовательной среды Технопарка универсальных педагогических компетенций имени Е.Л. Талалая (далее – Технопарк) в практико-ориентированном обучении школьников в области географии в условиях обновленного Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС).

### Материалы и методы исследования

Материалы и методы исследования: исходными материалами анализа стали материалы и оборудование Технопарка. В исследовании применялись также общие и частные методы исследования: анализ ли-

тературных источников, наблюдение, анализ и обобщение опыта работы учителей школы, преподавателей технопарков универсальных компетенций России.

### Результаты исследования и их обсуждение

В работах методиста Е.А. Беловоловой отмечено, что предметные и метапредметные результаты географического образования имеют явно выраженный практический характер. Автор, в частности, подчеркивает, что развитие предметной деятельности школьников соответствует принципу связи теории с практикой, раскрытому еще в трудах Ю.К. Бабанского, И.Я. Лернера, М.Н. Скаткина, и предлагает спроектированную структурно-динамическую модель развития предметной деятельности обучающихся географии, основанную на общепедagogическом принципе развития [7]. Е.А. Беловолова считает, что для вовлечения обучающихся в различные процедуры деятельности учителю необходимо использовать весь комплекс познавательных задач и педагогических технологий, а непосредственная деятельность ученика должна носить жизненный контекст и быть ориентирована на исследовательскую модель [7].

В качестве фактора, условия и средства построения образовательного процесса, направленного на развитие личности, следует рассматривать цифровую образовательную среду. В работе Е.С. Мироненко проведен подробный анализ подходов отечественных и зарубежных авторов к понятиям «цифровая среда», «цифровая образовательная среда». Можно сделать вывод о том, что цифровая образовательная среда исследователями рассматривается как система, включающая информационные цифровые и образовательные ресурсы, обладающая открытостью и доступностью, состоящая из таких элементов, как цифровые технологии, цифровые ресурсы и цифровые следы [8].

На примере цифровой среды Технопарка Шадринского государственного педагогического университета опишем направления ее использования для практико-ориентированного обучения школьников в области географии.

Первое направление включает использование цифровой среды Технопарка для достижения обучающимися метапредметных и предметных результатов в области школьной географии, что зафиксировано в содержании обновленного ФГОС [9]. В образовательном пространстве Технопарка возможны проведение различных видов тематических лекций и семинаров по предмету, мастер-классов по географии, органи-

зация выездных заседаний научных кружков, подготовка и проведение тематических олимпиад и т.д.

К примеру, на базе Технопарка был проведен практикум для учеников 10–11-х классов углубленного уровня изучения географии. Для понимания особенностей развития и размещения отдельных отраслей промышленности в России и мире была организована работа с натуральными и цифровыми коллекциями минералов и горных пород по определению их диагностических признаков, выявлению руд черных и цветных металлов, сырья для химической промышленности и других отраслей хозяйства. Массив данных о диагностических признаках исследуемых минералов и горных пород может быть в дальнейшем интегрирован в цифровую среду общеобразовательного учреждения и использоваться при изучении природно-ресурсного потенциала России и стран мира, изучении номенклатуры бассейнов и месторождений полезных ископаемых, а также при выявлении закономерностей размещения отраслей добывающей и перерабатывающей промышленности.

На базе технопарка организован практикум для школьников 6-го класса по формированию метапредметных и предметных результатов при изучении разделов «Гидросфера», «Атмосфера» школьного курса географии. Так, при изучении свойств вод Мирового океана с помощью датчика температуры окружающей среды (с диапазоном от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ) проведено исследование свойств вод, представлена модель процессов возникновения холодного течения с фиксацией изменения температуры в графической форме. Использование мультидатчиков (датчика барометра, датчика термометра, датчика влажности) при моделировании процессов, происходящих в атмосфере и гидросфере, учащимися 6–7-х классов позволит им не только проводить несложные географические исследования, но и формулировать обобщения и делать выводы по результатам проведенного исследования. Результаты исследования возможно транслировать в цифровую образовательную среду школы и использовать для интерпретации данных, формируя у школьников базовые исследовательские действия по выявлению причинно-следственных связей и зависимостей.

Таким образом, в условиях цифровой образовательной среды Технопарка ученикам могут быть предложены разнообразные варианты заданий, направленные на описание (географического, физического, химического или биологического процесса; местоположения изученных географических

объектов и т.д.) и интеграцию и интерпретацию информации, полученной из разных источников (аналоговые и цифровые данные).

Второе направление предполагает использование возможностей Технопарка как центра развития исследовательских компетентностей школьников в области географического образования. Технопарк имеет все необходимые условия для проведения исследования и получения интеллектуального продукта в области географии. В связи с этим необходимо выявить дидактические возможности цифрового оборудования, инструментов и сервисов и подготовить методические рекомендации по их использованию для разработки учебных и внеучебных проектов.

В Технопарке вуза среди цифрового оборудования представлены различные виды выносных датчиков (датчики люксметр, термометр, датчики магнитного поля Земли, положения и т.д.); беспроводные мультидатчики (барометр, датчик влажности воздуха, датчик давления, датчик температуры окружающей среды). Интерес представляет датчик влажности воздуха, который оснащен чувствительным элементом для фиксации изменений влажности воздуха (от 0 до 100% и разрешением не более 0,1%) и одновременно фиксации температуры окружающей среды, возможность определения точки росы и контроля испаряемости влаги. Время установления сигнала датчика составляет не более 17 секунд.

Выполнение проектов по географии с использованием мультидатчиков может быть реализовано по индивидуальному маршруту, в составе группы или целого коллектива. Форма организации работы зависит от содержания проекта и используемого оборудования Технопарка. При работе с мультидатчиками более эффективным будет разделение обучающихся на группы с определением функций и активным взаимодействием. Проектную деятельность с использованием мультидатчиков следует начинать с определения объекта и формулирования задач исследования; далее следуют подготовка мультидатчика и его запуск; фиксация и обработка результатов; формулировка выводов.

Таким образом, используя весь арсенал цифровой среды, обучающиеся могут выполнять проектно-исследовательские работы по ведению инструментального мониторинга отдельных компонентов окружающей среды; выявлению влияния абиотических факторов на живой организм и человека, и т.д. Результаты проектно-исследовательской деятельности обучающихся в виде

массива данных могут быть использованы для дальнейшего анализа, сравнения, установления причинно-следственных связей и получения соответствующих выводов. Информация, получаемая с помощью мультимедиа, может храниться и преобразовываться с дальнейшим использованием, а это расширяет возможности ее применения в образовательном процессе.

Третье направление предполагает использование цифровой образовательной среды Технопарка Шадринского государственного педагогического университета для формирования профессиональных навыков обучающихся по географическим специальностям (геодезист, гидролог, синоптик, геофизик, ландшафтовед, демограф, геммолог и др.), популяризации географических знаний, освещения современного состояния географических наук.

Так, на базе Технопарка был организован практикум для учеников 10–11-х классов по теме «Глобальные экологические проблемы окружающей среды», который предполагал выполнение комплексной работы. Старшеклассникам предложен следующий контекст: «В городе N произошла экологическая катастрофа. На город обрушились кислотные дожди. Все жители укрылись в бункерах и пока не могут покинуть свое укрытие. Вам как ученым-экологам необходимо изучить механизм возникновения кислотных дождей, выяснить их влияние на живые объекты природы. Для этого вы можете использовать цифровые датчики. Определите механизм возникновения кислотных дождей. На основе полученных выводов предложите план дальнейших действий для спасения населения города». Школьники вовлекаются в активный процесс познания. Им следует проанализировать проблему образования кислотных дождей; выдвинуть свои предположения о причинах возникновения экологической проблемы; продумать, какое цифровое оборудование можно использовать; обдумать основные этапы проведения эксперимента; определить компоненты для создания экспериментальной установки; подготовить к работе цифровые датчики; провести опыты; сделать соответствующие выводы; соотнести полученные результаты с научными данными по проблеме исследования; сформулировать теоретическое положение; предложить план спасения города.

На базе Технопарка ученикам 10–11-х классов было предложено освоить профессию геодезиста, картографа. Для этого необходимо иметь специальные знания и навыки, в том числе знать дистанционные методы изучения местности и владеть навыка-

ми картографирования окружающей среды. Нужно было обеспечить сбор и обработку необходимой картографической информации, а затем применить ее. Каждая группа участников получила задание по определению местоположения участка исследования; определению объектов по дешифровочным признакам на исследуемой территории и составлению подробного плана местности. Для этого использовались набор прикладных программ общего и специального назначения, ГИС-программы Технопарка.

### Заключение

Авторы считают, что цифровая образовательная среда Технопарка Шадринского государственного педагогического университета предоставляет достаточные возможности для развития у обучающихся практических навыков, формирования исследовательской и проектной деятельности, развития функциональной грамотности. Работа в цифровой среде Технопарка может способствовать овладению навыками по самостоятельному поиску необходимых методов решения практических задач; умением выявлять причинно-следственные связи, получать результат и критически его оценивать; умением интегрировать и интерпретировать знания из разных областей естественных наук. Полученные на базе Технопарка умения школьники могут использовать при выполнении учебных проектов, решении олимпиадных заданий различного уровня и т.д.

При организации работы Технопарка целесообразно выполнение следующих условий:

- цифровые ресурсы Технопарка могут быть востребованы на всех ступенях и уровнях образования (базовом и особенно углубленном уровне), в связи с этим необходимо подготовить методические рекомендации по их использованию, в том числе для практико-ориентированного обучения школьников в области географии;

- ученики могут овладевать ресурсами цифровой образовательной среды Технопарка непрерывно от ознакомительного до исследовательского уровня, поэтому следует искать новые дидактические возможности применения цифрового оборудования, инструментов и сервисов Технопарка;

- цифровая образовательная среда Технопарка должна постоянно обновляться и развиваться с целью качественного выполнения всех задач образовательного процесса, расширения образовательных возможностей, формирования мотивации и повышения эффективности использования ресурсов.



Таким образом, цифровая образовательная среда Технопарка Шадринского государственного педагогического университета обладает достаточными ресурсами для получения образовательного результата при изучении географии, формирования у обучающихся географического мышления, что закладывает основу для будущего понимания процессов и закономерностей в окружающей среде, а также ориентирует на осознанный выбор профессии.

### Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2020 г. № 1836 «О государственной информационной системе «Современная цифровая образовательная среда» // Справ.-правовая система «Гарант» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74822854/> (дата обращения: 21.10.2024).
2. Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» // Справ.-правовая система «Гарант» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/?ysclid=m2rg89db7t201625384> (дата обращения: 25.10.2024).
3. Евдокимова В.Е., Устинова Н.Н. Технопарк универсальных педагогических компетенций как современное профессионально ориентированное развивающее пространство [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 6-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32130> (дата обращения: 8.09.2024). DOI: 10.17513/spno.32130.
4. Милинский А.Ю., Саприна А.С. Организация проектной деятельности по физике в рамках ФГОС с применением оборудования Технопарка универсальных педагогических компетенций // Проблемы современного педагогического образования. 2023. № 79-4. С. 91-94.
5. Якунчев М.А., Семенова Н.Г., Кемешева А.А., Шорина К.О. Возможности детского технопарка «Кванториум» для практико-ориентированного обучения школьников // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 11. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39427> (дата обращения: 02.10.2024). DOI: 10.17513/snt.39427.
6. Соловьёва, А.Л., Шарьпова Н.В. Опыт внедрения цифрового микроскопа во внеурочную деятельность по предмету «Биология» // Вестник Шадринского государственного педагогического университета. 2024. № 2 (62). С. 65-72.
7. Беловолова, Е.А. Модель развития предметной деятельности школьников в обучении географии // Наука и школа. 2020. № 3. С. 59-67.
8. Мироненко Е.С. Цифровая образовательная среда: понятие и структура // Социальное пространство. 2019. № 4(21). URL: <http://socialarea-journal.ru/article/28318>. DOI: 10.15838/sa.2019.4.21.6.
9. Федеральная рабочая программа основного общего образования. География (для 5–9 классов образовательных организаций) [Электронный ресурс] // ФГБНУ «Институт содержания и методов обучения». URL: <https://edsoo.ru/rabochie-programmy/> (дата обращения: 8.09.2024).

## СТАТЬЯ

УДК 517.977.58

DOI

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ  
ЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА  
ДЛЯ ДИСКРЕТНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
С РАЗНЫМИ ТЕМПАМИ ДВИЖЕНИЙ****Аширбаев Б.Ы.***Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина,  
Бишкек, e-mail: ashirbaev-58@mail.ru*

Цель исследования – конструирование линейного регулятора для дискретной стохастической стационарной системы с разными темпами движений. С использованием методов разделения переменных состояния систем с разными темпами движений и интегральных многообразий, исходная задача конструирования линейного регулятора разделена на две подзадачи, решения которых находятся независимо друг от друга. Алгоритмы аналитических решений подзадач построены на основе второго метода Ляпунова, свойств математических ожиданий и ковариационных матриц случайных процессов системы с разными темпами движений. В процессе решения задачи выведены соотношения, определяющие математические ожидания, ковариационные матрицы, матрицы усиления и функции Ляпунова. Найденные математические ожидания, ковариационные матрицы, матрицы усиления и функции Ляпунова использованы для определения линейных регуляторов обеих задач. Результатом решения двух подзадач является аналитически полученный линейный дискретный регулятор, состоящий из двух дискретных регуляторов, которые минимизируют функционалы соответствующих задач. Полученные результаты работы могут быть применены в исследовании стохастических задач оптимального управления, конструирования линейного регулятора для цифровой стохастической системы, а также в исследовании других постановок стохастических задач оптимального управления.

**Ключевые слова:** регулятор, многообразие, функция Ляпунова, стохастическая, ковариационная матрица, матрицы усиления

**ANALYTICAL DESIGN OF A LINEAR CONTROLLER  
FOR A DISCRETE STOCHASTIC SYSTEM  
WITH DIFFERENT RATES OF MOVEMENT****Ashirbaev B.Y.***Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin,  
Bishkek, e-mail: ashirbaev-58@mail.ru*

The paper studies the problem of designing a linear controller for a discrete stochastic stationary system with different rates of motion. Using the methods of separating the state variables of systems with different rates of motion and integral manifolds, the original problem of designing a linear controller is divided into two subproblems, the solution of which is independent of each other. Algorithms for analytical solutions of subproblems are based on the second Lyapunov method, properties of mathematical expectations and covariance matrices of random processes of a system with different rates of motion. In the process of solving the problem, the following relationships are derived: defining mathematical expectations, covariance matrices, gain matrices and Lyapunov functions. The found mathematical expectations, covariance matrices, gain matrices and Lyapunov functions are used to determine linear controllers for both problems. The result of solving two subproblems is an analytically obtained linear discrete controller consisting of two discrete controllers that minimize the functionals of the corresponding problems. The results obtained of the work can be applied in the study of stochastic problems of optimal control, the design of a linear controller for a digital stochastic system, as well as in the study of other formulations of stochastic problems of optimal control.

**Keywords:** regulator, manifolds, Lyapunov function, gain matrices, stochastic, covariance matrix

**Введение**

Подробный анализ современных работ, посвященных исследованию методов построения решений задач синтеза линейного регулятора, имеется в [1; 2]. Кроме того, можно отметить работы [3–5], в которых за последние десять лет в различных постановках исследованы дискретные задачи

синтеза оптимального регулятора. Дискретные задачи оптимального управления рассмотрены и в наших работах [6–8]. В частности, задача конструирования регулятора для дискретной управляемой системы с малым шагом в детерминированных случаях рассмотрена в работе [6, с. 16]. Данная работа является продолжением вышеуказанных работ.

**Материалы и методы исследования**

Задана модель объекта управления, которая описывается уравнением

$$Y(t+T) = A(\mu)Y(t) + B(\mu)u(t) + F(t), \tag{1}$$

где  $Y(t)$  – вектор состояния:  $Y(t) = (X(t) Z(t))'$ ,  $X(t) \in R^n$ ,  $Z(t) \in R^m$ ;

$A(\mu)$  и  $B(\mu)$  – матрицы состояния и управления:

$$A(\mu) = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ \frac{1}{\mu}A_3 & \frac{1}{\mu}A_4 \end{pmatrix}, \quad B(\mu) = \begin{pmatrix} B_1 \\ \frac{1}{\mu}B_2 \end{pmatrix}, \quad A_1 - (n \times n), \quad A_2 - (n \times m),$$

$$A_3 - (m \times n), \quad A_4 - (m \times m), \quad B_1 - (n \times r), \quad B_2 - (m \times r);$$

$u(t)$  – вектор управления;  $t$  – время переходного процесса:

$t = kT$ ,  $k = 0, 1, \dots$ ,  $T$  – малый шаг,  $0 \leq T \leq 1$ ,  $\mu$  – малый параметр,  
 $0 < \mu < 1$  штрих обозначает транспонирование,  $M$  – математическое ожидание;

$F(t) = \left( f_1(t) \quad \frac{1}{\mu} f_2(t) \right)'$  – вектор внешних возмущений, последовательность взаимно

независимых, гауссовских случайных векторов, некоррелированных с  $Y_0$  и удовлетворяющих условиям:

$$M[F(t)] = 0, \quad M[f_1(kT) f_1'(jT)] = L_1 \delta_{kj}, \quad \delta_{kj} = \begin{cases} 1, k = n \\ 0, k \neq n \end{cases},$$

$$M[f_2(kT) f_2'(jT)] = L_2 \delta_{kj}, \quad \delta_{kj} = \begin{cases} 1, k = m \\ 0, k \neq m \end{cases},$$

$L_1, L_2$  – симметрические, неотрицательно определенные матрицы [9, с. 41].  
 Начальные состояния системы (1) имеют вид

$$Y(t_0) = Y(0) = Y_0 = (X(0) Z(0))' = (X_0 Z_0)'. \tag{2}$$

Задан критерий

$$J = M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} [Y'(kT) Q Y(kT) + u'(kT) u(kT)] + Y'(KT) P Y(KT) \right\}, \tag{3}$$

где  $Q, P$  – заданные неотрицательно определенные симметрические матрицы,

$$Q = \begin{pmatrix} Q_1 & 0 \\ 0 & Q_2 \end{pmatrix}, \quad P = \begin{pmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{pmatrix}.$$

Требуется найти управление  $u^*(t)$ , при котором функционал (3) принимает наименьшее возможное значение, при ограничениях (1) и (2).

Предположим, что выполняется следующее условие.

Условие 1. Пусть  $A_4$  – устойчивая матрица, это означает, что собственные значения матрицы  $A_4$  удовлетворяют неравенству  $|Re \lambda_i| \leq \alpha < 1$ ,  $i = \overline{1, m}$ , где  $\alpha$  – некоторая постоянная.

При выполнении условий 1 систему (1) заменим следующей эквивалентной системой с разделенными переменными [10, с. 8; 11, с. 115]:

$$\tilde{X}(t+T) = \tilde{A}_1(\mu) \tilde{X}(t) + \tilde{B}_1(\mu) u(t) + \tilde{f}_1(t, \mu), \tag{4}$$

$$\mu \tilde{Z}(t+T) = \tilde{A}_4(\mu) \tilde{Z}(t) + \tilde{B}_2(\mu) u(t) + f_2(t, \mu), \tag{5}$$

$$\text{где } \tilde{X}(t, \mu) = X(t) + \mu N(\mu) \tilde{Z}(t, \mu), \quad \tilde{Z}(t, \mu) = Z(t) - H(\mu) X(t), \tag{6}$$

$$\begin{aligned}\tilde{A}_1(\mu) &= A_1 + A_2 H(\mu), \quad \tilde{A}_4(\mu) = A_4 - \mu H(\mu) A_2, \\ \tilde{B}_1(\mu) &= B_1 + N(\mu) \tilde{B}_2(\mu), \quad \tilde{B}_2(\mu) = B_2 - \mu H(\mu) B_1, \\ \tilde{f}_1(t) &= f_1(t) + N(\mu) \tilde{f}_2(t), \quad \tilde{f}_2(t) = f_2(t) - \mu H(\mu) f_1(t).\end{aligned}$$

В соотношениях (6) матрицы  $H(\mu)$ ,  $N(\mu)$  имеют размерности  $m \times n$ ,  $n \times m$  соответственно и удовлетворяют следующим уравнениям [10, с. 8]:

$$\mu H(\mu) A_1 + \mu H(\mu) A_2 H(\mu) = A_3 + A_4 H(\mu), \quad (7)$$

$$N(\mu) \tilde{A}_4(\mu) + \mu \tilde{A}_1(\mu) N(\mu) - A_2 = 0, \quad (8)$$

Уравнения (7), (8) имеют решения, которые могут быть представлены в виде равномерно сходящихся степенных рядов [10, с. 9]:

$$H(\mu) = \sum_{i=0}^{\infty} H_i \mu^i, \quad N(\mu) = \sum_{s=0}^{\infty} N_s \mu^s. \quad (9)$$

В [10, с. 9] определены матрицы  $H_i$  и  $N_s$  ( $i, s = 0, 1, \dots$ ) путем приравнивания коэффициентов при одинаковых степенях  $\mu$  в уравнениях (7), (8).

Начальные условия системы (4) и (5) определяются соотношениями

$$\tilde{X}(0) = \tilde{X}_0, \quad \tilde{Z}(0) = \tilde{Z}_0, \quad (10)$$

$$\text{где } \tilde{X}_0(\mu) = X_0 + \mu N_0 \tilde{Z}_0, \quad \tilde{Z}_0 = Z_0 - H_0 X_0, \quad H_0 = -A_4^{-1} A_3, \quad N_0 = A_2 A_4^{-1}. \quad (11)$$

При  $\mu = 0$  из (6) будем иметь

$$\tilde{A}_1 \approx A_0 = A_1 + H_0 A_3, \quad \tilde{A}_4 \approx A_4, \quad \tilde{B}_1 \approx B_0 = B_1 - N_0 B_2, \quad \tilde{B}_2(\mu) = B_2.$$

Предположим, что выполняется следующее условие.

Условие 2. Пусть  $A_0$  – устойчивая матрица, то есть собственные значения матрицы  $A_0$  удовлетворяют неравенству  $|\operatorname{Re} \lambda_j| \leq \beta < 1$ ,  $j = \overline{1, n}$ , где  $\beta$  – некоторая постоянная.

При выполнении условий 1 и 2 система (1) имеет интегральные многообразия [6, с. 17; 12, с. 772]:

$$Z = H\tilde{X}, \quad X = -\mu N\tilde{Z}. \quad (12)$$

Интегральные многообразия (12) записываем в следующих формах:

$$\Omega_\nu = \left\{ \left( \tilde{X}', H\tilde{X} \right) \mid \tilde{X} = X \in R^n, Z = H\tilde{X}, Z \in R^m, \mu \in [0, 1) \right\}, \quad (13)$$

$$\Omega_\sigma = \left\{ \left( (-\mu N\tilde{Z})', \tilde{Z} \right) \mid X = -\mu N\tilde{Z} \in R^n, \tilde{Z} \in R^m, \mu \in [0, 1) \right\},$$

где  $(\tilde{X}', H\tilde{X})$  – скалярные произведения векторов  $\tilde{X}'$  и  $H\tilde{X}$ .

Матрицы  $B_1$  и  $B_2$  соответственно представим в следующих формах:

$$B_{ps}^{(1)} = \begin{pmatrix} b_{11}^{(1)} & b_{12}^{(1)} & \dots & b_{1r}^{(1)} \\ b_{21}^{(1)} & b_{22}^{(1)} & \dots & b_{2r}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{n1}^{(1)} & b_{n2}^{(1)} & \dots & b_{nr}^{(1)} \end{pmatrix}, \quad B_{qs}^{(2)} = \begin{pmatrix} b_{11}^{(2)} & b_{12}^{(2)} & \dots & b_{1r}^{(2)} \\ b_{21}^{(2)} & b_{22}^{(2)} & \dots & b_{2r}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{m1}^{(2)} & b_{m2}^{(2)} & \dots & b_{mr}^{(2)} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

$$p = \overline{1, n}, \quad q = \overline{1, m}, \quad s = \overline{1, r}.$$

Тогда с учетом (6) и (14) имеем

$$\tilde{B}_{qs}^{(2)} = B_{qs}^{(2)} - \mu HB_{ps}^{(1)} = \begin{pmatrix} b_{11}^{(2)} & b_{12}^{(2)} & \dots & b_{1r}^{(2)} \\ b_{21}^{(2)} & b_{22}^{(2)} & \dots & b_{2r}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{m1}^{(2)} & b_{m2}^{(2)} & \dots & b_{mr}^{(2)} \end{pmatrix} -$$

$$- \begin{pmatrix} \mu h_{11} & \mu h_{12} & \dots & \mu h_{1n} \\ \mu h_{21} & \mu h_{22} & \dots & \mu h_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \mu h_{m1} & \mu h_{m2} & \dots & \mu h_{mn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_{11}^{(1)} & b_{12}^{(1)} & \dots & b_{1r}^{(1)} \\ b_{21}^{(1)} & b_{22}^{(1)} & \dots & b_{2r}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{n1}^{(1)} & b_{n2}^{(1)} & \dots & b_{nr}^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{b}_{11}^{(2)} & \tilde{b}_{12}^{(2)} & \dots & \tilde{b}_{1r}^{(2)} \\ \tilde{b}_{21}^{(2)} & \tilde{b}_{22}^{(2)} & \dots & \tilde{b}_{2r}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{b}_{m1}^{(2)} & \tilde{b}_{m2}^{(2)} & \dots & \tilde{b}_{mr}^{(2)} \end{pmatrix},$$

$$\tilde{b}_{11}^{(2)} = b_{11}^{(2)} - \mu \left( h_{11} b_{11}^{(1)} + h_{12} b_{21}^{(1)} + \dots + h_{1n} b_{n1}^{(1)} \right),$$

$$\tilde{b}_{12}^{(2)} = b_{12}^{(2)} - \mu \left( h_{11} b_{12}^{(1)} + h_{12} b_{22}^{(1)} + \dots + h_{1n} b_{n2}^{(1)} \right), \dots,$$

$$\tilde{b}_{1r}^{(2)} = b_{1r}^{(2)} - \mu \left( h_{11} b_{1r}^{(1)} + h_{12} b_{2r}^{(1)} + \dots + h_{1n} b_{nr}^{(1)} \right),$$

$$\tilde{b}_{21}^{(2)} = b_{21}^{(2)} - \mu \left( h_{21} b_{11}^{(1)} + h_{22} b_{21}^{(1)} + \dots + h_{2n} b_{n1}^{(1)} \right),$$

$$\tilde{b}_{22}^{(2)} = b_{22}^{(2)} - \mu \left( h_{21} b_{12}^{(1)} + h_{22} b_{22}^{(1)} + \dots + h_{2n} b_{n2}^{(1)} \right), \dots,$$

$$\tilde{b}_{2r}^{(2)} = b_{2r}^{(2)} - \mu \left( h_{21} b_{1r}^{(1)} + h_{22} b_{2r}^{(1)} + \dots + h_{2n} b_{nr}^{(1)} \right), \dots,$$

$$\tilde{b}_{m1}^{(2)} = b_{m1}^{(2)} - \mu \left( h_{r1} b_{11}^{(1)} + h_{r2} b_{21}^{(1)} + \dots + h_{rn} b_{n1}^{(1)} \right),$$

$$\tilde{b}_{m2}^{(2)} = b_{m2}^{(2)} - \mu \left( h_{r1} b_{12}^{(1)} + h_{r2} b_{22}^{(1)} + \dots + h_{rn} b_{n2}^{(1)} \right), \dots,$$

$$\tilde{b}_{mr}^{(2)} = b_{mr}^{(2)} - \mu \left( h_{r1} b_{1r}^{(1)} + h_{r2} b_{2r}^{(1)} + \dots + h_{rn} b_{nr}^{(1)} \right).$$

$$\tilde{B}_{ps}^{(1)} = B_{ps}^{(1)} + N\tilde{B}_{qs}^{(2)} = \begin{pmatrix} b_{11}^{(1)} & b_{12}^{(1)} & \dots & b_{1r}^{(1)} \\ b_{21}^{(1)} & b_{22}^{(1)} & \dots & b_{2r}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{n1}^{(1)} & b_{n2}^{(1)} & \dots & b_{nr}^{(1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ n_{n1} & n_{n2} & \dots & n_{nm} \end{pmatrix} \times$$

$$\times \begin{pmatrix} \tilde{b}_{11}^{(2)} & \tilde{b}_{12}^{(2)} & \dots & \tilde{b}_{1r}^{(2)} \\ \tilde{b}_{21}^{(2)} & \tilde{b}_{22}^{(2)} & \dots & \tilde{b}_{2r}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{b}_{m1}^{(2)} & \tilde{b}_{m2}^{(2)} & \dots & \tilde{b}_{mr}^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{b}_{11}^{(1)} & \tilde{b}_{12}^{(1)} & \dots & \tilde{b}_{1r}^{(1)} \\ \tilde{b}_{21}^{(1)} & \tilde{b}_{22}^{(1)} & \dots & \tilde{b}_{2r}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{b}_{n1}^{(1)} & \tilde{b}_{n2}^{(1)} & \dots & \tilde{b}_{nr}^{(1)} \end{pmatrix},$$

$$\tilde{b}_{11}^{(1)} = b_{11}^{(1)} + n_{11} \tilde{b}_{11}^{(2)} + n_{12} \tilde{b}_{21}^{(2)} + \dots + n_{1m} \tilde{b}_{m1}^{(2)},$$

$$\tilde{b}_{12}^{(1)} = b_{12}^{(1)} + n_{11} \tilde{b}_{12}^{(2)} + n_{12} \tilde{b}_{22}^{(2)} + \dots + n_{1m} \tilde{b}_{m2}^{(2)}, \dots,$$

$$\begin{aligned}
\tilde{b}_{1r}^{(1)} &= b_{1r}^{(1)} + n_{11}\tilde{b}_{1r}^{(2)} + n_{12}\tilde{b}_{2r}^{(2)} + \dots + n_{1m}\tilde{b}_{mr}^{(2)}, \\
\tilde{b}_{21}^{(1)} &= b_{21}^{(1)} + n_{21}\tilde{b}_{11}^{(2)} + n_{22}\tilde{b}_{21}^{(2)} + \dots + n_{2m}\tilde{b}_{m1}^{(2)}, \\
\tilde{b}_{22}^{(1)} &= b_{22}^{(1)} + n_{21}\tilde{b}_{12}^{(2)} + n_{22}b_{22}^{(2)} + \dots + n_{2m}\tilde{b}_{m2}^{(2)}, \dots, \\
\tilde{b}_{2r}^{(1)} &= b_{2r}^{(1)} + n_{21}\tilde{b}_{1r}^{(2)} + n_{22}b_{2r}^{(2)} + \dots + n_{2m}\tilde{b}_{mr}^{(2)}, \dots, \\
\tilde{b}_{m1}^{(1)} &= b_{m1}^{(1)} + n_{r1}\tilde{b}_{11}^{(2)} + n_{r2}b_{21}^{(2)} + \dots + n_{rm}\tilde{b}_{m1}^{(2)}, \\
\tilde{b}_{n2}^{(1)} &= b_{n2}^{(1)} + n_{r1}\tilde{b}_{12}^{(2)} + n_{r2}b_{22}^{(2)} + \dots + n_{rm}\tilde{b}_{m2}^{(2)}, \dots, \\
\tilde{b}_{nr}^{(1)} &= b_{nr}^{(1)} + n_{r1}\tilde{b}_{1r}^{(2)} + n_{r2}b_{2r}^{(2)} + \dots + n_{rm}\tilde{b}_{mr}^{(2)}.
\end{aligned}$$

Предположим, что выполняются следующие условия:

$$\left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)', H\tilde{B}_{ps}^{(1)} \right) \in \Omega_\nu, \quad \left( \left( -N\tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)', \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right) \in \Omega_\sigma. \quad (15)$$

При выполнении условий (15) вместо исходной задачи (1)–(3) имеем задачу минимизации функционала (3) при ограничениях (4) и (5), при этом оптимальное управление  $u^*(t)$  можно представить в форме [6, с. 18]:

$$u^*(t) = \begin{cases} -\tilde{B}_{ps}^{(1)} \dot{E}_\nu \tilde{X}(t), \tilde{X} \in R^n, \\ -\tilde{B}_{qs}^{(2)} \dot{E}_\sigma \tilde{Z}(t), \tilde{Z} \in R^m, \end{cases} \quad (16)$$

где  $\Theta_\nu - (n \times n)$ ,  $\Theta_\sigma - (m \times m)$  матрицы усиления, которые в процессе решения задачи определяются.

Таким образом, при выполнении условий 1, 2 и 15, задачу (1)–(3) представим в виде следующих двух подзадач, решения которых находится независимо друг от друга.

Задача А. Найти

$$J_\nu = M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \left[ \tilde{X}'(kT) Q_\nu \tilde{X}(kT) + u'(kT) u(kT) \right] + \tilde{X}'(KT) P_\nu \tilde{X}(KT) \right\} \rightarrow \min, \quad (17)$$

при ограничениях:

$$\tilde{X}(t+T) = \tilde{A}_1(\mu) \tilde{X}(t) + \tilde{B}_{ps}^{(1)} u(t) + \tilde{f}_1(t, \mu), \quad (18)$$

где  $\tilde{X}(0) = \tilde{X}_0$ ,  $Z = H\tilde{X}$ ,  $\tilde{X} = X$ ,  $Q_\nu = Q_1 + H'Q_2H$ ,  $P_\nu = P_1 + H'P_2H$ .

Известно [13, с. 463], что при заданном управлении справедливы следующие соотношения:

$$M \left[ \tilde{X}'(t) Q_\nu \tilde{X}(t) \right] = \tilde{m}_{\tilde{x}}'(t) Q_\nu \tilde{m}_{\tilde{z}}(t) + \text{tr} \left[ Q_\nu D_{\tilde{x}}(t) \right], \quad M \left[ \tilde{f}_1(t) \right] = 0, \quad (19)$$

$$M \left[ \tilde{f}_1(kT) \tilde{f}_1'(jT) \right] = L_1(t) \delta_{kj}, \quad \delta_{kj} = \begin{cases} 1, & k = n, \\ 0, & k \neq n, \end{cases}$$

где математическое ожидание  $\tilde{m}_{\tilde{x}}(t)$  и ковариационная матрица  $D_{\tilde{x}}(t)$  удовлетворяют следующим разностным уравнениям:

$$\tilde{m}_{\tilde{x}}(t+T) = \tilde{A}_1(\mu) \tilde{m}_{\tilde{x}}(t) + \tilde{B}_{ps}^{(1)} u(t), \quad \tilde{m}_{\tilde{x}}(0) = \tilde{m}_{\tilde{x}0}, \quad (20)$$

$$D_{\tilde{x}}(t+T) = \tilde{A}_1(\mu) D_{\tilde{x}}(t) \tilde{A}_1'(\mu) + L_1(t), \quad D_{\tilde{x}}(0) = D_{\tilde{x}0}. \quad (21)$$

Задача В. Найти

$$J_\sigma = M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \left[ \tilde{Z}'(kT) Q_\sigma \tilde{Z}(kT) + u'(kT) u(kT) \right] + \tilde{Z}'(KT) P_\sigma \tilde{Z}(KT) \right\} \rightarrow \min, \quad (22)$$

при ограничениях:

$$\mu \tilde{Z}(t+T) = \tilde{A}_4(\mu) \tilde{Z}(t) + \tilde{B}_{qs}^{(2)} u(t) + \tilde{f}_2(t, \mu), \quad (23)$$

$$\tilde{Z}(0) = \tilde{Z}_0, \quad X = -\mu N \tilde{Z}, \quad Z = \tilde{Z} + HX = \tilde{Z} - \mu HN \tilde{Z} = (E_m - \mu HN) \tilde{Z}, \quad (24)$$

где  $Q_\sigma = \mu^2 N' Q_1 N + (E_m - \mu HN)' Q_2 (E_m - \mu HN)$ ,  $P_\sigma = \mu^2 N' P_1 N + (E_m - \mu HN)' P_2 (E_m - \mu HN)$ ,

$$M[\tilde{Z}'(t) Q_\sigma \tilde{Z}(t)] = \tilde{m}'(t) Q_\sigma \tilde{m}(t) + tr[Q_\sigma D_{\tilde{z}}(t)], \quad M[\tilde{f}_2(t)] = 0,$$

$$M[\tilde{f}_2(kT) \tilde{f}_2'(jT)] = L_2(t) \delta_{kj}, \quad \delta_{kj} = \begin{cases} 1, & k = m, \\ 0, & k \neq m, \end{cases}$$

$$\mu \tilde{m}_{\tilde{z}}(t+T) = \tilde{A}_4(\mu) \tilde{m}_{\tilde{x}}(t) + \tilde{B}_{qs}^{(2)} u(t), \quad \tilde{m}_{\tilde{z}}(0) = \tilde{m}_{\tilde{z}0}, \quad (25)$$

$$D_{\tilde{z}}(t+T) = \tilde{A}_4(\mu) D_{\tilde{z}}(t) \tilde{A}_4'(\mu) + L_2(t), \quad D_{\tilde{z}}(0) = D_{\tilde{z}0}. \quad (26)$$

**Решение задачи.** Рассмотрим задачу А. Для определения оптимального управления задачи А используем метод Ляпунова [6, с. 18]. Для данных задач функции Ляпунова представим в виде

$$V(\tilde{X}, t) = \tilde{X}'(t) \Lambda(t) \tilde{X}(t), \quad G(\tilde{Z}, t) = \tilde{Z}'(t) \Sigma(t) \tilde{Z}(t), \quad (27)$$

где  $\Lambda$  и  $\Sigma$  – положительно определенные матрицы. Тогда первые разности функции (27) соответственно можно записать в виде

$$\Delta V(\tilde{X}, t) = V[\tilde{X}(t+T)] - V[\tilde{X}(t)], \quad (28)$$

$$\Delta G(\tilde{Z}, t) = G[\tilde{Z}(t+T)] - G[\tilde{Z}(t)]. \quad (29)$$

Согласно методу Ляпунова первая разность функции Ляпунова должна быть отрицательна определенной. Объединив условие отрицательной определенности первой разности функции Ляпунова (27) с функционалом (17), полагаем

$$\begin{aligned} & M \{ \tilde{X}'(t+T) \Lambda(t+T) \tilde{X}(t+T) - \tilde{X}'(t) \Lambda(t) \tilde{X}(t) \} = \\ & = -M \{ u'(t) u(t) + \tilde{X}'(t) Q_\nu \tilde{X}(t) \} - M [ \tilde{X}'(KT) P_\nu \tilde{X}(KT) ]. \end{aligned} \quad (30)$$

С учетом (16), (18) из (30) имеем

$$\begin{aligned} & M \left\{ \left[ \tilde{X}'(t) \tilde{A}_1'(\mu) - \tilde{X}'(t) \Theta_\nu' \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 + \tilde{f}_1'(t, \mu) \right] \Lambda(t+T) \times \right. \\ & \left. \times \left[ \tilde{A}_1(\mu) \tilde{X}(t) - \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_\nu \tilde{X}(t) + \tilde{f}_1(t, \mu) \right] - \tilde{X}'(t) \Lambda(t) \tilde{X}(t) \right\} = \\ & = -M \left\{ \tilde{X}'(t) \Theta_\nu' \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right) \tilde{B}_{ps}^{(1)} \Theta_\nu \tilde{X}(t) + \tilde{X}'(t) Q_\nu \tilde{X}(t) \right\} - M [ \tilde{X}'(KT) P_\nu \tilde{X}(KT) ] \\ & M \left\{ \tilde{X}'(t) \left[ \tilde{A}_1' \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 - \tilde{A}_1' \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_\nu - \theta_\nu' \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 + \right. \right. \\ & \left. \left. + \theta_\nu' \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_\nu - \Lambda(t) \right] \tilde{X}(t) \right\} + M [ \tilde{f}_1'(kT) \Lambda(t+T) \tilde{f}_1'(jT) ] = \\ & = -M \left\{ \tilde{X}'(t) \left[ \Theta_\nu' \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right) \tilde{B}_{ps}^{(1)} \Theta_\nu + Q_\nu \right] \tilde{X}(t) \right\} - M [ \tilde{X}'(KT) P_\nu \tilde{X}(KT) ]. \end{aligned}$$

Из последнего равенства с учетом (19) получаем

$$\begin{aligned}
 & \tilde{m}'_{\tilde{x}}(t) \left( \tilde{A}'_1 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 - \tilde{A}'_1 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu} - \theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 + \right. \\
 & \quad \left. + \theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu} - \Lambda(t) \right) \tilde{m}_{\tilde{x}}(t) + \\
 & + tr \left[ \left( \tilde{A}'_1 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 - \tilde{A}'_1 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu} - \theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu} - \Lambda(t) \right) D_{\tilde{z}}(t) \right] + \Lambda(t+T) L_1(t) = \\
 & = \tilde{m}'_{\tilde{x}}(t) \left( -\Theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right) \tilde{B}_{ps}^{(1)} \Theta_{\nu} - Q_{\nu} \right) \tilde{m}_{\tilde{x}}(t) + tr \left[ \left( -\Theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right) \tilde{B}_{ps}^{(1)} \Theta_{\nu} - Q_{\nu} \right) D_{\tilde{z}}(t) \right] - \\
 & \quad - \tilde{m}'_{\tilde{x}}(KT) P_{\nu} \tilde{m}_{\tilde{x}}(KT). \tag{31}
 \end{aligned}$$

При выполнении условий 1, 2 и 15 решения уравнения (20), (21) существуют, также существуют:  $\Theta_{\nu}$  – матрица усиления управляющей функции (16) и  $\Lambda(t)$  – матрица функции Ляпунова (27), как решения следующих алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}
 \Lambda(t) &= \tilde{A}'_1 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 - \tilde{A}'_1 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu} - \\
 & - \theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 + \theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu}, \tag{32} \\
 \Theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right) \tilde{B}_{ps}^{(1)} \Theta_{\nu} + Q_{\nu} &= 0, \\
 \Lambda(t+T) &= -\tilde{m}'_{\tilde{x}}(KT) P_{\nu} \tilde{m}_{\tilde{x}}(KT) L_1^{-1}(t).
 \end{aligned}$$

Тогда равенство (31) будет справедливым.

Теперь рассмотрим задачу В.

$$\begin{aligned}
 & M \left\{ \tilde{Z}'(t+T) \Sigma(t+T) \tilde{Z}(t+T) - \tilde{Z}'(t) \Sigma(t) \tilde{Z}(t) \right\} = \\
 & = -M \left\{ u'(t) u(t) + \tilde{Z}'(t) Q_{\sigma} \tilde{Z}(t) \right\} - M \left[ \tilde{Z}'(KT) P_{\sigma} \tilde{Z}(KT) \right]. \tag{33}
 \end{aligned}$$

С учетом (16), (23) из (33) имеем

$$\begin{aligned}
 & M \left\{ \left[ \frac{1}{\mu} \tilde{Z}'(t) \tilde{A}'_4(\mu) - \frac{1}{\mu} \tilde{Z}'(t) \Theta'_{\sigma} \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 + \frac{1}{\mu} \tilde{f}'_2(t, \mu) \right] \Sigma(t+T) \times \right. \\
 & \quad \left. \times \left[ \frac{1}{\mu} \tilde{A}_4(\mu) \tilde{Z}(t) - \frac{1}{\mu} \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_{\sigma} \tilde{Z}(t) + \frac{1}{\mu} \tilde{f}_2(t, \mu) \right] - \tilde{Z}'(t) \Sigma(t) \tilde{Z}(t) \right\} = \\
 & = -M \left\{ \tilde{Z}'(t) \Theta'_{\sigma} \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \tilde{B}_{qs}^{(2)} \Theta_{\sigma} \tilde{Z}(t) + \tilde{Z}'(t) Q_{\sigma} \tilde{Z}(t) \right\} - M \left[ \tilde{Z}'(KT) P_{\sigma} \tilde{Z}(KT) \right]. \\
 & M \left\{ \tilde{Z}'(t) \frac{1}{\mu} \left[ \tilde{A}'_4 \Sigma(t+T) \tilde{A}_4 - \tilde{A}'_4 \Sigma(t+T) \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_{\sigma} - \theta'_{\sigma} \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 \Sigma(t+T) \tilde{A}_4 + \right. \right.
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & +\theta'_\sigma \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 \Sigma(t+T) \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_\sigma - \mu \Sigma(t) \left. \tilde{Z}(t) \right\} + \frac{1}{\mu^2} M \left[ \tilde{f}_1(kT) \Sigma(t+T) \tilde{f}_1'(jT) \right] = \\
 & = -M \left\{ \tilde{Z}'(t) \Theta'_\sigma \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \tilde{B}_{qs}^{(2)} \Theta_\sigma \tilde{Z}(t) + \tilde{Z}'(t) Q_\sigma \tilde{Z}(t) \right\} - M \left[ \tilde{Z}'(KT) P_\sigma \tilde{Z}(KT) \right].
 \end{aligned}$$

Из последнего равенства при любом  $\tilde{Z}(t)$  с учетом (24) получаем

$$\begin{aligned}
 \tilde{m}'_{\tilde{z}}(t) & \frac{1}{\mu} \left( \tilde{A}'_4 \Sigma(t+T) \tilde{A}_4 - \tilde{A}'_4 \Sigma(t+T) \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_\sigma - \theta'_\sigma \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 \Sigma(t+T) \tilde{A}_4 + \right. \\
 & \quad \left. + \theta'_\sigma \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 \Sigma(t+T) \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_\sigma - \mu \Sigma(t) \right) \tilde{m}_{\tilde{z}}(t) + \\
 & \quad + \frac{1}{\mu} \text{tr} \left[ \left( \tilde{A}'_4 \Sigma(t+T) \tilde{A}_4 - \tilde{A}'_4 \Sigma(t+T) \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_\sigma - \theta'_\sigma \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 \Sigma(t+T) \tilde{A}_4 + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \theta'_\sigma \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 \Sigma(t+T) \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_\sigma - \mu \Sigma(t+T) \right) D_{\tilde{z}}(t) \right] + \frac{1}{\mu^2} \Sigma(t+T) L_2(t) = \\
 & = \tilde{m}'_{\tilde{z}}(t) \left( -\Theta'_\sigma \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \tilde{B}_{qs}^{(2)} \Theta_\sigma - Q_\sigma \right) \tilde{m}_{\tilde{z}}(t) + \text{tr} \left[ \left( -\Theta'_\sigma \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \tilde{B}_{qs}^{(2)} \Theta_\sigma - Q_\sigma \right) D_{\tilde{z}}(t) \right] - \\
 & \quad - \tilde{m}'_{\tilde{z}}(KT) P_\sigma \tilde{m}_{\tilde{z}}(KT). \tag{34}
 \end{aligned}$$

При выполнении условий 1, 2 и 15 решения уравнения (25), (26) существуют, также существуют:  $\Theta'_\sigma$  – матрица усиления управляющей функции (16) и  $\Sigma(t)$  – матрица функции Ляпунова (27), как решения следующих алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}
 \Sigma(t) & = \frac{1}{\mu^2} \left( \tilde{A}'_4 \Sigma(t+T) \tilde{A}_4 - \tilde{A}'_4 \Sigma(t+T) \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_\sigma - \theta'_\sigma \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 \Sigma(t+T) \tilde{A}_4 + \right. \\
 & \quad \left. + \theta'_\sigma \left( \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \right)^2 \Sigma(t+T) \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)^2 \Theta_\sigma \right), \tag{35}
 \end{aligned}$$

$$\Theta'_\sigma \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \tilde{B}_{qs}^{(2)} \Theta_\sigma + Q_\sigma = 0, \quad \Sigma(t+T) = -\mu^2 \tilde{m}'_{\tilde{z}}(KT) P_\sigma \tilde{m}_{\tilde{z}}(KT) L_2^{-1}(t).$$

Тогда равенство (34) будет справедливым. Сформулируем следующее утверждение в виде теоремы, в которой содержатся основные результаты данной работы.

**Теорема.** Пусть выполняются условия 1, 2 и 15. Тогда в интегральных многообразиях (13) линейные дискретные регуляторы  $u^*_x(t)$  и  $u^*_z(t)$  в виде обратной связи определяются соответственно функциями:

1) для задачи А:

$$u^*_x(t) = -C_x(t) \tilde{m}_x(t), \tag{36}$$

где  $C_x(t) = \left[ E_n + \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \Lambda(t+T) \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right]^{-1} \tilde{B}_{ps}^{(1)} \Lambda(t+T) \tilde{A}_1(\mu);$

2) для задачи В:

$$u^*_z(t) = -C_z(t) \tilde{m}_z(t), \tag{37}$$

$$C_z(t) = \left[ \mu^2 E_m + \left( \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right)' \Psi(t+T) \tilde{B}_{qs}^{(2)} \right]^{-1} \tilde{B}_{qs}^{(2)} \Psi(t+T) \tilde{A}_4(\mu);$$

3) линейные дискретные регуляторы  $u_{\tilde{x}}^*(t)$  и  $u_{\tilde{z}}^*(t)$  соответственно минимизируют функционалы (17), (22) и их минимальные значения определяются соотношениями

$$\min J_{\nu} = \tilde{m}'_{\tilde{x}}(0)\Lambda(0)\tilde{m}_{\tilde{x}}(0) + \text{tr}[\Lambda(0)D_{\tilde{x}}(0)], \quad (38)$$

$$\min J_{\sigma} = \tilde{m}'_{\tilde{z}}(0)\Sigma(0)\tilde{m}_{\tilde{z}}(0) + \text{tr}[\Sigma(0)D_{\tilde{x}}(0)]. \quad (39)$$

Доказательство. Докажем теорему для задачи А. Для того, чтобы минимизировать функционал (17), находим

$$M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \Delta V[\tilde{X}, kT] \right\} = M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ V[\tilde{X}((k+1)T)] - V[\tilde{X}(kT)] \right\} \right\}, \quad (40)$$

$$M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \Delta V[\tilde{X}, kT] \right\} = M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \tilde{X}'(kT)\Lambda(kT)\tilde{X}(kT) - \tilde{X}'(0)\Lambda(0)\tilde{X}(0) \right\}. \quad (41)$$

С учетом (17) и (19) из (40) имеем

$$\begin{aligned} M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \Delta V[\tilde{X}, kT] \right\} &= \sum_{k=0}^{\infty} M \left\{ V[\tilde{X}((k+1)T)] - V[\tilde{X}(kT)] \right\} = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} M \left\{ \tilde{X}'(t+T)\Lambda(t+T)\tilde{X}(t+T) - \tilde{X}'(t)\Lambda(t)\tilde{X}(t) \right\} = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} M \left\{ \left[ \tilde{X}'(t)\tilde{A}'_1(\mu) - u'(t)(\tilde{B}_{ps}^{(1)})' + \tilde{f}'_1(t, \mu) \right] \Lambda(t+T) \times \right. \\ &\quad \times \left. \left[ \tilde{A}_1(\mu)\tilde{X}(t) + \tilde{B}_{ps}^{(1)}u(t) + \tilde{f}_1(t, \mu) \right] - \tilde{X}'(t)\Lambda(t)\tilde{X}(t) \right\} = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ M \left[ \tilde{X}'(t)\tilde{A}'_1(\mu)\Lambda(t+T)\tilde{A}_1(\mu)\tilde{X}(t) + u'(t)(\tilde{B}_{ps}^{(1)})' \Lambda(t+T)\tilde{A}_1(\mu)\tilde{X}(t) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \tilde{f}'_1(t)\Lambda(t+T)\tilde{A}_1(\mu)\tilde{X}(t) + u'(t)(\tilde{B}_{ps}^{(1)})' \Lambda(t+T)\tilde{A}_1(\mu)\tilde{X}(t) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + u'(t)(\tilde{B}_{ps}^{(1)})' \Lambda(t+T)\tilde{B}_{ps}^{(1)}u(t) + u'(t)(\tilde{B}_{ps}^{(1)})' \Lambda(t+T)\tilde{f}_1(t) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \tilde{f}'_1(t)\Lambda(t+T)\tilde{A}_1(\mu)\tilde{X}(t) + \tilde{f}'_1(t)\Lambda(t+T)\tilde{B}_{ps}^{(1)}u(t) + \tilde{f}'_1(t)\Lambda(t+T)\tilde{f}_1(t) \right] - \right. \\ &\quad \left. - \tilde{X}'(t)\Lambda(t)\tilde{X}(t) \right\}. \end{aligned}$$

Теперь с учетом (19) из последнего равенства получаем

$$\begin{aligned} M \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \Delta V[\tilde{X}, kT] \right\} &= \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \tilde{m}'_{\tilde{x}}(t)\tilde{A}'_1(\mu)\Lambda(t+T)\tilde{A}_1(\mu)\tilde{m}_{\tilde{x}}(t) + \right. \\ &\quad \left. + \text{tr} \left[ \tilde{A}'_1(\mu)\Lambda(t+T)\tilde{A}_1(\mu)D_{\tilde{x}}(t) \right] + 2u'(t)(\tilde{B}_{ps}^{(1)})' \Lambda(t+T)\tilde{A}_1(\mu)\tilde{m}_{\tilde{x}}(t) + \right. \\ &\quad \left. + u'(t)(\tilde{B}_{ps}^{(1)})' \Lambda(t+T)\tilde{B}_{ps}^{(1)}u(t) + \Lambda(t+T)L_1(t) - \tilde{m}'_{\tilde{x}}(t)\Lambda(t)\tilde{m}_{\tilde{x}}(t) - \text{tr}[\Lambda(t)D_{\tilde{x}}(t)] \right\}. \quad (42) \end{aligned}$$

Сравнивая правые части выражений (41) и (42), получаем равенство

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \tilde{m}'_{\bar{x}}(t) \tilde{A}'_1(\mu) \Lambda(t+T) \tilde{A}_1(\mu) \tilde{m}_{\bar{x}}(t) + \right. \\ & + tr \left[ \tilde{A}'_1(\mu) \Lambda(t+T) \tilde{A}_1(\mu) D_{\bar{x}}(t) \right] + 2u'(t) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \Lambda(t+T) \tilde{A}_1(\mu) \tilde{m}_{\bar{x}}(t) + \\ & + u'(t) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \Lambda(t+T) \tilde{B}_{ps}^{(1)} u(t) + \Lambda(t+T) L_1(t) - \tilde{m}'_{\bar{x}}(t) \Lambda(t) \tilde{m}_{\bar{x}}(t) - \\ & \left. - tr \left[ \Lambda(t) D_{\bar{x}}(t) \right] \right\} - \tilde{m}'_{\bar{x}}(KT) \Lambda(KT) \tilde{m}_{\bar{x}}(KT) - tr \left[ \Lambda(KT) D_{\bar{x}}(KT) \right] + \\ & + \tilde{m}'_{\bar{x}}(0) \Lambda(0) \tilde{m}_{\bar{x}}(0) - tr \left[ \Lambda(0) D_{\bar{x}}(0) \right] = 0. \end{aligned} \quad (43)$$

Функционал (17) с учетом (19) перепишем в виде

$$\begin{aligned} \min J_{\nu} = & \sum_{k=0}^{\infty} \left[ \tilde{m}'_{\bar{x}}(kT) Q_{\nu} \tilde{m}_{\bar{x}}(kT) + tr \left[ Q_{\nu} D_{\bar{x}}(kT) \right] + u'(kT) u(kT) \right] + \\ & + \tilde{m}'_{\bar{x}}(KT) P_{\nu} \tilde{m}_{\bar{x}}(KT) + tr \left[ P_{\nu} D_{\bar{x}}(KT) \right]. \end{aligned} \quad (44)$$

Теперь добавим к функционалу (44) левую часть равенства (43):

$$\begin{aligned} J_{\nu} = & \sum_{k=0}^{\infty} \left[ \tilde{m}'_{\bar{x}}(kT) Q_{\nu} \tilde{m}_{\bar{x}}(kT) + tr \left[ Q_{\nu} D_{\bar{x}}(kT) \right] + u'(kT) u(kT) \right] + \\ & + \tilde{m}'_{\bar{x}}(KT) P_{\nu} \tilde{m}_{\bar{x}}(KT) + tr \left[ P_{\nu} D_{\bar{x}}(KT) \right] + \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \tilde{m}'_{\bar{x}}(t) \tilde{A}'_1(\mu) \Lambda(t+T) \tilde{A}_1(\mu) \tilde{m}_{\bar{x}}(t) + \right. \\ & + tr \left[ \tilde{A}'_1(\mu) \Lambda(t+T) \tilde{A}_1(\mu) D_{\bar{x}}(t) \right] + 2u'(t) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \Lambda(t+T) \tilde{A}_1(\mu) \tilde{m}_{\bar{x}}(t) + \\ & + u'(t) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \Lambda(t+T) \tilde{B}_{ps}^{(1)} u(t) + \Lambda(t+T) L_1(t) - \tilde{m}'_{\bar{x}}(t) \Lambda(t) \tilde{m}_{\bar{x}}(t) - \\ & \left. - tr \left[ \Lambda(t) D_{\bar{x}}(t) \right] \right\} - \tilde{m}'_{\bar{x}}(KT) \Lambda(KT) \tilde{m}_{\bar{x}}(KT) - tr \left[ \Lambda(KT) D_{\bar{x}}(KT) \right] + \\ & + \tilde{m}'_{\bar{x}}(0) \Lambda(0) \tilde{m}_{\bar{x}}(0) + tr \left[ \Lambda(0) D_{\bar{x}}(0) \right]. \end{aligned} \quad (45)$$

Оптимальный вектор  $u(t)$  должен удовлетворять условию  $\frac{\partial J_{\nu}}{\partial u} = 0$ . Тогда из (45) имеем

$$\left( E_n + \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \Lambda(t+T) \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right) u(t) = -\tilde{B}_{ps}^{(1)} \Lambda(t+T) \tilde{A}_1(\mu) \tilde{m}_{\bar{x}}(t).$$

Из последнего равенства получаем линейный дискретный регулятор  $u_{\bar{x}}^*(t)$  (36). Доказательство, пункт 2. С учетом (16) из (45) имеем

$$\begin{aligned} \min J_{\nu} = & \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \tilde{m}'_{\bar{x}}(kT) \left[ Q_{\nu} + \Theta'_{\nu} \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \tilde{B}_{ps}^{(1)} \Theta_{\nu} + \tilde{A}'_1(\mu) \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 - \tilde{A}'_1 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \Theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 + \Theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu} - \Lambda(t) \right] \tilde{m}_{\bar{x}}(t) \right\} + \\ & + \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ tr \left[ \tilde{A}'_1(\mu) \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 - \tilde{A}'_1 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_{\nu} - \Theta'_{\nu} \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \tilde{A}_1 + \right. \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +\theta'_v \left( \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \right)^2 \Lambda(t+T) \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)^2 \Theta_v - \Lambda(t) \left] D_{\tilde{x}}(t) \right\} + \sum_{k=0}^{\infty} \left[ \left( Q_v + \Theta'_v \left( \tilde{B}_{ps}^{(1)} \right)' \tilde{B}_{ps}^{(1)} \Theta_v \right) D_{\tilde{x}}(t) \right] - \\
& - \tilde{m}'_{\tilde{x}}(KT) \Lambda(KT) \tilde{m}_{\tilde{x}}(KT) - tr \left[ \Lambda(KT) D_{\tilde{x}}(KT) \right] + \tilde{m}'_{\tilde{x}}(0) \Lambda(0) \tilde{m}_{\tilde{x}}(0) + tr \left[ \Lambda(0) D_{\tilde{x}}(0) \right].
\end{aligned}$$

Из последнего равенства с учетом первого и второго уравнения (32) и считая что  $\lim_{K \rightarrow \infty} \Lambda(KT) = 0$ , получаем (38).

Доказательство теоремы для задачи  $B$  проводится аналогично задаче  $A$ .

### Заключение

В работе для стационарной дискретной стохастической системы с разными темпами движений с использованием соотношений математических ожиданий, ковариационных матриц, матрицы усиления и функции Ляпунова случайных процессов, построен линейный дискретный регулятор, состоящий из двух линейных дискретных регуляторов, которые под их действием отдельно регулируются движения медленной и быстрой системы.

Результаты работы могут быть применены в исследовании дискретных стохастических задач оптимального управления, конструирования линейного регулятора для цифровой стохастической системы, а также в исследовании других постановок стохастических задач оптимального управления.

### Список литературы

1. Kurina G.A., Dmitriev M.G., Naidu D.S. Discrete singularly perturbed control problems (a survey) // *Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems Series B: Applications & Algorithms*. 2017. № 24. P. 335–370.
2. Zhang Y., Naidu D.S., Cai C., Zou Y. Singular perturbation and time scales in control theories and applications: An overview 2002–2012 // *Int. J. Information and Systems Sciences*. 2014. Vol. 9. No. 1. P. 1–36. URL: [https://www.d.umn.edu/~dsnaidu/Naidu\\_Survey\\_Zhang-Naidu\\_et\\_al\\_\(IJISS\)\\_2014.pdf](https://www.d.umn.edu/~dsnaidu/Naidu_Survey_Zhang-Naidu_et_al_(IJISS)_2014.pdf) (дата обращения: 11.09.2024).
3. Danik Y., Dmitriev M. Symbolic Regulator Sets for a Weakly Nonlinear Discrete Control System with a Small Step // *Mathematics*. 2022. Vol. 10 (3). P. 1–14. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/3/487> (дата обращения: 13.09.2024).
4. Ковалева М.А., Рутковский А.Л. Сингулярно возмущенные системы оптимального управления: монография. М.: Мир науки, 2020. 95 с.
5. Zerizer T. Solving BVPs of singularly perturbed discrete systems // *Communications in Applied Analysis*. 2019. Vol. 23. No. 3. P. 483–495.
6. Аширбаев Б.Ы. Решение задачи аналитического конструирования регулятора для стационарной дискретной системы с малым шагом: сборник материалов конференций «Математическая теория управления и ее приложения». СПб.: АО «Концерн ЦНИИ Электроприбор», 2020. 380 с.
7. Yuldashev T. K., Ashirbaev B. Y. Optimal Feedback Control Problem for a Singularly Perturbed Discrete System // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2023. Vol. 44, No. 2. P. 661–668.
8. Ashirbaev B.Y., Yuldashev T.K. Derivation of a Controlability Criteria for a Linear Singularly Perturbed Discrete System with Small Step // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2024. Vol. 45, No. 3. P. 938–948.
9. Смагин В.И., Параев Ю.И. Синтез следящих систем управления по квадратичным критериям. Томск: Изд-во Томского университета, 1996. 171 с.
10. Аширбаев Б.Ы. Декомпозиция линейной сингулярно-возмущенной дискретной системы с постоянно действующими внешними силами // *Известия вузов Кыргызстана*. № 3. Бишкек, 2023. С. 7–11.
11. Соболев В.А. Декомпозиция сингулярно возмущенных задач оптимального слежения с заданной эталонной траекторией // *Сибирский журнал индустриальной математики*. 2023. Т. 26. № 3. С. 112–124. DOI: 10.33048/SIBJIM.2023.26.309.
12. Соболев В.А., Осинцев М.С. Метод интегральных многообразий в задачах оптимального управления сингулярно возмущенными системами // *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. В сб. XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ*, 2014. М., 2014. С. 760–779.
13. Пантелеев А.В., Бортакоский А.С. Теория управления в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2003. 583 с.