

ISSN 2713-1874

№ 3
2025

Научный журнал

ЭПЦ

Экономика
Право
Иновации

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Максимова Татьяна Геннадьевна, д-р экон. наук, канд. техн. наук, профессор, профессор факультета прикладной информатики, факультета технологического менеджмента и инноваций, Университет ИТМО

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Антипов Антон Александрович, канд. филол. наук, доцент, доцент Центра развития института интеллектуальной собственности, Университет ИТМО

Бессмертный Игорь Александрович, д-р техн. наук, профессор, профессор факультета программной инженерии и компьютерной техники; сотрудник Международного научного центра «Нелинейные и адаптивные системы управления», Университет ИТМО

Берестнева Ольга Григорьевна, д-р техн. наук, профессор, отделение информационных технологий Инженерной школы информационных технологий и робототехники, Томский политехнический университет

Будрин Александр Германович, д-р экон. наук, профессор, профессор факультета технологического менеджмента и инноваций, Университет ИТМО

Ватян Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент факультета прикладной информатики; ст. науч. сотр. Национального центра когнитивных разработок, Университет ИТМО

Верзилин Дмитрий Николаевич, д-р экон. наук, канд. техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук; заведующий кафедрой менеджмента и экономики спорта, НГУ имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург

Горбашко Елена Анатольевна, д-р экон. наук, профессор, проректор по научной работе, Санкт-Петербургский государственный экономический университет

Горлушкина Наталия Николаевна, канд. техн. наук, доцент, доцент факультета прикладной информатики, Университет ИТМО

Горовой Александр Андреевич, д-р экон. наук, доцент, профессор факультета технологического менеджмента и инноваций, Университет ИТМО

Ена Олег Валерьевич, куратор стратегического развития, Проектный офис, Федеральный институт промышленной собственности

Заиченко Кирилл Вадимович, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией радио- и оптоэлектронных приборов биоинформационных и геномных технологий ранней диагностики патологий живых систем, Институт аналитического приборостроения Российской академии наук

Кравец Алла Григорьевна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования», руководитель проектной лаборатории «Киберфизические системы», Волгоградский государственный технический университет

Кузнецова Татьяна Викторовна, д-р пед. наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования, Федеральный институт промышленной собственности, заведующий Всероссийской патентно-технической библиотекой

Мурашова Светлана Витальевна, канд. экон. наук, доцент, начальник отдела управления интеллектуальной собственностью, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»; доцент Центра развития института интеллектуальной собственности, Университет ИТМО

Николаев Андрей Сергеевич, канд. экон. наук, директор центра развития института интеллектуальной собственности, Университет ИТМО

Павлов Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, профессор ВКА им. А.Ф. Можайского; ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Соколов Борис Владимирович, д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, руководитель лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Трофимов Валерий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информатики, Санкт-Петербургский государственный экономический университет

Туккел Иосиф Львович, д-р техн. наук, профессор, профессор высшей школы киберфизических систем и управления, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Харламова Татьяна Львовна, д-р экон. наук, профессор, профессор Высшей школы производственного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Хоружников Сергей Эдуардович, канд. физ.-мат. наук, доцент, директор национального центра квантового интернета, директор центра авторизованного обучения информационным технологиям; руководитель Международной лаборатории сетевых технологий в распределенных компьютерных системах, Университет ИТМО

Черешнев Валерий Александрович, академик РАН и РАМН, д-р мед. наук, профессор, научный руководитель Института иммунологии и физиологии УрО РАН, заведующий кафедрой иммунохимии, Уральский федеральный университет; президент Евразийского научно-исследовательского института человека, Уральский государственный экономический университет

Шаныгин Сергей Иванович, д-р экон. наук, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры статистики, учёта и аудита экономического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет

Шулгин Дмитрий Борисович, д-р экон. наук, канд. физ.-мат. наук, доцент, директор Центра интеллектуальной собственности, заведующий кафедрой информатики и интеллектуальной собственности, Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б.Н. Ельцина

Юрьева Лариса Владимировна, д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры учета, анализа и аудита, Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б.Н. Ельцина

Удалова Александра Леонидовна, инженер факультета прикладной информатики Университета ИТМО – *ответственный секретарь редакции*

EDITOR-IN-CHIEF

Tatiana G. Maximova, D.Sc, PhD, Professor, Faculty of Applied Informatics, Faculty of Technology Management and Innovation, ITMO University

EDITORIAL BOARD

Anton A. Antipov, PhD, Associate Professor, Center for the Development of the Institute of Intellectual Property, ITMO University

Igor A. Bessmertny, D.Sc, Professor, Faculty of Software Engineering and Computer Technology; Employee of the International Scientific Center «Nonlinear and Adaptive Control Systems», ITMO University

Olga G. Berestneva, D.Sc, Professor, Department of Information Technology, School of Information Technology and Robotics Engineering, Tomsk Polytechnic University

Aleksandr G. Budrin, D.Sc, Professor, Faculty of Technology Management and Innovation, ITMO University

Aleksandra S. Vatian, PhD, Associate Professor, Faculty of Applied Informatics; Senior Researcher in National Center for Cognitive Development, ITMO University

Dmitriy N. Verzilin, D.Sc, PhD, Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; Head of the Department of Management and Economics of Sports, Lesgaft NSU, St. Petersburg

Elena A. Gorbashko, D.Sc, Professor, Vice-Rector for Research, St. Petersburg State University of Economics

Natalia N. Gorlushkina, PhD, Associate Professor, Faculty of Applied Informatics, ITMO University

Alexandr A. Gorovoi, D.Sc, Professor, Faculty of Technology Management and Innovation, ITMO University

Oleg V. Ena, Curator of Strategic Development, the Project office, Federal Institute of Industrial Property

Kirill V. Zaichenko, D.Sc, Professor, Head of the Laboratory of Radio- and Optoelectronic Devices for Bioinformational and Genomic Technologies for Early Diagnosis of Pathologies of Living Systems, Institute of Analytical Instrumentation of the Russian Academy of Sciences

Alla G. Kravets, D.Sc, Professor, Professor of the Department of Computer-Aided Design and Search Design, Head of the Cyber-Physical Systems Design Laboratory, Volgograd State Technical University

Tatyana V. Kuznetsova, D.Sc, Professor, Honorary Worker of Higher Education, Federal Institute of Industrial Property, Head of the All-Russian Patent and Technical Library

Svetlana V. Murashova, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Intellectual Property Management, FSUE «Krylovsky State Scientific Center»; Associate Professor, Center for the Development of the Institute of Intellectual Property, ITMO University

Andrei S. Nikolaev, PhD, Associate Professor, Director of the Development Center of the Institute of Intellectual Property, ITMO University

Alexander N. Pavlov, D.Sc, Professor, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky; Leading Researcher of Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

Boris V. Sokolov, D.Sc, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

Valeriy V. Trofimov, D.Sc, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Saint Petersburg State University of Economics

Iosif L. Tukkel, D.Sc, Professor, Professor of the Higher School of Cyberphysical Systems and Control, Saint-Petersburg Peter the Great Polytechnic University

Tatiana L. Kharlamova, D.Sc, Professor, Graduate School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Sergey E. Khoruzhnikov, PhD, Associate Professor, Director of the National Center for Quantum Internet; Director of the Center for Authorized Information Technology Training; Head of the International Laboratory for Network Technologies in Distributed Computer Systems, ITMO University

Valeriy A. Chereshev, Academician of RAS and RAMS, D.Sc, Professor, Scientific Director of the Institute of Immunology and Physiology Ural branch of RAS, Head of Immunochemistry Department, Ural Federal University; President of the Eurasian Human Research Institute, Ural State University of Economics

Sergei I. Shanygin, D.Sc, PhD, Associate Professor, Professor, Department of Statistics, Accounting and Auditing of the Faculty of Economics, St. Petersburg State University

Dmitry B. Shulgin, D.Sc, PhD, Associate Professor, Head of the Intellectual Property Center, Head of Innovation and Intellectual Property Department, Ural Federal University of the First President of Russia B. N. Yeltsin

Larisa V. Iurieva, D.Sc, Professor, Accounting, Analysis and Audit Department, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin

Aleksandra L. Udalova, Engineer, Faculty of Applied Informatics, ITMO University – *executive secretary*

ЭКОНОМИКА. ПРАВО. ИННОВАЦИИ

Научный журнал

ISSN 2713-1874

DOI: 10.17586/2713-1874

2025. Том 13. № 3. Сквозной номер выпуска – 39

Учредитель и издатель:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»
197101, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., дом 49, литер А

Адрес редакции:

199034, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Биржевая линия, дом 16.
телефон: (812) 480-04-96 ecinn@itmo.ru
<https://ecinn.itmo.ru/>

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-48173
выдано 19.01.2012 Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор)

Язык журнала – русский, английский
Периодичность выхода издания – 4 номера в год

Плата за публикации и редактирование не взимается

ECONOMICS. LAW. INNOVATION

Scientific journal

Transliterated title is «Ekonomika. Pravo. Innovacii»

2025. Vol. 13. No. 3. Continuous issue 39

Founder and publisher

ITMO University
49, lit A, Kronverksky pr., St. Petersburg, 197101, Russia

Editorial office

16, Birzhevaya liniya, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation,
phone: (812) 480-04-96 ecinn@itmo.ru
<https://ecinn.itmo.ru/>

Certificate of registration of mass media
ПИ № ФС 77-48173 dated 19.01.2012
by The Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor)

Language of the journal: Russian, English
Publication frequency is 4 times a year

Publication and editing are free of charge

Главный редактор: *Т. Г. Максимова*
Корректурa, компьютерная верстка: *А. Л. Удалова*

Подписано в печать 24.09.2025 г. Дата выхода в свет 30.09.2025. Формат 60x90 1/8. Усл.печ.л. 11,32.

Гарнитура TimesNewRoman. Тираж 50 экз. 1 завод – 26 экз. Заказ № 130. Свободная цена.

Отпечатано: ООО «Университетские телекоммуникации» Типография на Биржевой
199034, Санкт-Петербург, В.О., Биржевая линия, д. 16
Тел.: +7 (812) 915-14-54 e-mail: zakaz@TiBir.ru

**Региональная и отраслевая экономика /
Regional and branch economics**

- Окулова О. И., Шакина Е. А.* Международные рейтинги как инструменты развития инновационного потенциала вузов: наукометрический анализ 4
Okulova O. I., Shakina E. A. International Rankings as a Tool for Innovation Capacity Building of Universities: Scientometric Analysis (In Russ.)
- Бредихин А. А., Михолажина Ю. К., Будрина Е. В.* Влияние виртуальной реальности на эффективность процессов корпоративного обучения 17
Bredikhin A. A., Mikholazhina Yu. K., Budrina E.V. The Impact of Virtual Reality on the Effectiveness of Corporate Learning Processes (In Russ.)
- Шестакова Н. Н., Джанелидзе М. Г.* Резилиентность регионов северо-запада России в условиях нарастания сочетанных шоков 27
Shestakova N. N., Djanelidze M. G. The Resilience of the Russian Northwest Regions in The Context of Increasing Combined Shocks (In Russ.)
- Трофимов В. В., Иус А. Д.* Повышение эффективности хозяйственной деятельности предприятий точного земледелия на основе использования цифровых технологий 41
Trofimov V. V., Ius A. D. Improving the Efficiency of Economic Activities of Precision Farming Enterprises Through the Use of Digital Technologies (In Russ.)
- Шермадини М. В.* Моделирование инновационных процессов наукоемких предприятий 52
Shermadini M. V. Modeling of Innovation Processes of Knowledge-Intensive Enterprises (In Russ.)

**Управление в организационных системах /
Management in organizational systems**

- Горшков П. В., Бессмертный И. А., Клименков С. В.* Методы и алгоритмы управления процессами разработки программных продуктов 59
Gorshkov P. V., Bessmertny I. A., Klimenkov S. V. Methods and Algorithms for Managing Software Development Processes (In Russ.)
- Антонов А. С., Горнова Г. В.* Анализ устойчивости системы маршрутизации обращений Центра управления регионом с помощью метода дискретно-событийного моделирования 69
Antonov A. S., Gornova G. V. Stability Analysis of a Regional Management Center's Request-Routing System Using Discrete-Event Simulation (In Russ.)
- Шнайдер П. А., Летенков И. А., Хлопотов М. В.* Методика оценки учебных курсов с использованием многокомпонентных метрик и эталонного сопоставления 83
Shnaider P. A., Letenkov I. A., Khlopotov M. V. An Approach to Evaluating Academic Courses Through Multi-Factor Metrics and Reference Course Alignment (In Russ.)
- Сведения об авторах* 96
Information about the authors

Научная статья
УДК 330; 338.012
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-4-16

МЕЖДУНАРОДНЫЕ РЕЙТИНГИ КАК ИНСТРУМЕНТЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ВУЗОВ: НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Ольга Игоревна Окулова¹, Елена Анатольевна Шакина²

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Санкт-Петербург, Россия, ookulova@hse.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2295-4983>

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, eshakina@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4048-6132>
Язык статьи – русский

Аннотация: За последнее десятилетие проблема инновационного развития стала значимой для рынка высшего образования. Вузы стремятся к внедрению различных форм организационных инноваций для формирования устойчивой позиции на национальном и международном рынках. Исследователями отмечается значимость анализа мирового опыта инструментов развития инновационного потенциала и необходимость изучения их влияния на способность реагировать на изменения во внешней среде. Важным элементом устойчивого инновационного развития становится использование принятых в отрасли инструментов развития инновационного потенциала для обеспечения эффективной реализации образовательных программ и укрепления позиций вузов на рынке. Целью исследования является выявление тематических групп публикаций, посвященных международным рейтингам как инструменту развития инновационного потенциала вузов. В качестве материала использованы научные статьи с 1999 по 2020 год из базы данных Web of Science. Метод исследования – проведение наукометрического анализа, в ходе которого рассматриваются темы научных исследований, связанных с изучением международных рейтингов как одного из важнейших инструментов формирования инновационного потенциала вузов. По результатам выделены тематические кластеры и проанализированы ключевые статьи в каждом из них. Сделан вывод о важности международных рейтингов как инструмента развития инновационного потенциала вузов, однако подчеркнуты значительные ограничения их использования. Обозначены направления дальнейших исследований, касающиеся необходимости комплексного подхода к оценке инновационного потенциала и эмпирическому исследованию эффективности иных инструментов развития инновационного потенциала вузов.

Ключевые слова: инновационное развитие, инновационный потенциал вузов, инструменты инновационного развития вузов, международные рейтинги университетов

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.

Ссылка для цитирования: Окулова О. И., Шакина Е. А. Международные рейтинги как инструменты развития инновационного потенциала вузов: наукометрический анализ // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 4–16. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-4-16>.

INTERNATIONAL RANKINGS AS A TOOL FOR INNOVATION CAPACITY BUILDING OF UNIVERSITIES: SCIENTOMETRIC ANALYSIS

Olga I. Okulova¹, Elena A. Shakina²

¹HSE University, Saint-Petersburg, Russia, ookulova@hse.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2295-4983>

²ITMO University, Saint-Petersburg, Russia, eshakina@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4048-6132>
Article in Russian

Abstract: Over the past decade, the issue of innovation development has become significant for the higher education market. Universities are striving to implement various forms of organizational innovations in order to establish a sustainable position on both national and international markets. Researchers emphasize the importance of analyzing global experience with tools for developing innovation potential and the need to study their impact on the ability to respond to changes in the external environment. An important element of sustainable innovation development is the use of industry-standard tools for enhancing innovation capacity to ensure effective implementation of educational programs and strengthen the positions of universities in the market. The aim of this research is to identify thematic groups of publications dedicated to international rankings as an instrument for developing the innovation potential of universities. As materials, scientific articles from 1999 to 2020 were used from the Web of Science database. The method of investigation involves conducting scientometric analysis, presenting topics of scientific research related to studying international rankings as

one of the key instruments of innovation potential in universities. Based on the results, thematic clusters have been identified and key articles within each cluster have been examined. It was concluded that international rankings play an important role as one of the tools for developing innovation potential for universities, although their significant limitations are highlighted. Directions for further research have been formulated, focusing on the necessity of comprehensive evaluation of innovation potential and empirical testing of the efficiency of other tools for developing innovation potential in universities.

Keywords: innovative development of universities, innovative potential of universities, international university rankings, tools of innovative development

The study was carried out within the framework of the Fundamental Research Program of the National Research University Higher School of Economics.

For citation: Okulova O. I., Shakina E. A. International Rankings as a Tool for Innovation Capacity Building of Universities: Scientometric Analysis. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 4–16. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-4-16>.

Введение. Вопросы инновационного развития получили широкое распространение в обсуждении деятельности малых и крупных предприятий как в России, так и за ее пределами. Тем не менее, в течение последних 10–15 лет проблема инновационного развития и стратегического управления стала очень значимой и для рынков высшего образования. Наблюдается высокий рост конкуренции внутри отрасли как в национальной, так и международной перспективе [1].

Современный этап социально-экономического развития и в Российской Федерации, и мире, характеризуется изменением значимости глобализации, цифровизацией всех сфер жизни общества и возрастающей конкуренцией за ведущие позиции среди государств и международных организаций. Исходя из методологии расчета инновационного развития, одним из ключевых факторов повышения конкурентоспособности стран становится инновационная активность высших учебных заведений, выступающих центрами формирования новых знаний и технологических решений. В широком понимании, инновационный потенциал вуза представляет собой комплекс ресурсов, компетенций и организационно-институциональных условий, определяющий способность успешно осуществлять создание, внедрение и распространение инноваций.

В исследовании [2] отмечается значимость анализа мирового опыта оценки инновационного потенциала вузов и определения наиболее эффективных инструментов его развития. Современная российская научная литература уделяет большое внимание вопросам развития инновационного потенциала вузов в связи с внешними шоками и вызовами,

с которыми столкнулась национальная система образования [3, 4], и указывает на актуальность определения инструментов развития инновационного потенциала вузов. К определению и анализу инструментов развития инновационного потенциала призывают и зарубежные исследователи, изучающие их влияние на формирование культуры инноваций и способность реагировать на изменения в различных отраслях экономики [5]. Таким образом, комплексное определение инновационного потенциала вузов невозможно без определения перечня инструментов его развития, принятых в международной практике.

Цель исследования. Целью исследования является проведение наукометрического анализа для выявления в научной литературе тематических групп, посвящённых международным рейтингам как инструменту развития инновационного потенциала вузов, на основе поиска научных статей в Web of Science. Рассматривались наиболее цитируемые публикации для определения содержания тем, посвящённых различным аспектам использования международных рейтингов и оценки их эффектов с целью их дальнейшего изучения и внедрения при разработке стратегических планов развития.

Литературный обзор. Определение понятия «инновационный потенциал». Исходя из анализа понятийного аппарата, авторы предлагают разделить характеристики инновационного потенциала на характеристики процесса и результата. Под характеристиками процесса понимается последовательность определённых действий, ведущая к необходимому результату и логически с ним связанная.

В контексте понятия «инновационный потенциал» характеристикой процесса можно считать усилия и инициативы, направленные на достижение поставленных стратегических задач. Например, определение текущего уровня человеческих ресурсов в соответствии с утверждением Друкера [6] о том, что определение своего уровня является началом любой инновации. Кроме того, внедрение инструментов развития инновационного потенциала стимулирует формирование культуры инноваций через введение новых подходов к оценке и требованиям к ресурсам организации.

Характеристикой результата можно считать набор свойств или показателей, используемых для эмпирического анализа достигнутого состояния или статуса после достижения поставленных стратегических задач. Основная задача характеристики

результата заключается в оценке достигнутого эффекта и определении показателей развития инновационного потенциала. В соответствии с исследованиями Жица [9], такими характеристиками могут являться оценка экономической деятельности или исследовательской деятельности как важной ресурсной возможности, которые будут интегрированы в институциональную среду вуза.

Учитывая подход Нельсона в работе [7], можно утверждать, что для развития инновационного потенциала требуется внедрение определённых инструментов, которые приняты в отрасли, в рамках которой организация ведёт свою деятельность. Авторы исследования указывают на то, что для каждой отрасли характерны свои инструменты развития инновационного потенциала и информирования о его уровне.



Рисунок 1 – Диаграмма Эйлера, определяющая структуру понятия «инновационный потенциал» и составляющие характеристики процесса и результата, для стимулирования которых используются инструменты инновационного потенциала

Источник: разработано авторами на основе [8,9,10,7,6]

Развитие инновационного потенциала затруднено без использования определенных инструментов, которые могут стимулировать инновационный потенциал как в части процесса, так и в части результатов. К некоторым общим инструментам можно отнести следующие.

- 1) Государственное регулирование и поддержка через предоставление грантов, содействие инновациям через субсидии и государственные целевые программы развития.
- 2) Привлечение частных инвестиций через создание акселераторов и стартапов.

3) Инфраструктурная поддержка через создание необходимых условий для реализации инновационной деятельности.

4) Международное сотрудничество для определения лучших практик развития и формирования добавленной ценности продукции и услуг.

Важно отметить, что традиционное понимание инструментов инновационного развития включает в себя «создание условий» со стороны регионов и государства, однако следует подчеркнуть обратную причинно-следственную связь в том, что государство или частные инвесторы проявляют больший интерес к стимулированию организаций и отраслей, которые активно внедряют инновации и используют принятые в отрасли инструменты развития инновационного потенциала.

Инструменты развития инновационного потенциала в высшем образовании. Вопросы инструментов развития инновационного потенциала вузов в России связаны с вызовами и ограничениями последних лет и становятся важными предметами обсуждения, так как российское образование является социально значимой частью народного хозяйства [11]. Государство осознает роль вузов не только как центров передовой науки и образования, но и как важнейших субъектов инновационной деятельности, ориентированных на распространение инноваций и развитие собственного инновационного потенциала для эффективного ответа на внешние вызовы и рост конкуренции внутри отрасли высшего образования. Это соответствует концепции университета «третьего поколения», который, согласно Б. Кларку, имеет несколько «путей развития», например, усиление управленческого потенциала, диверсификация финансовой базы, развитие научного потенциала, формирование интегральной предпринимательской культуры. Зарубежные исследователи обращают внимание на важность того, чтобы университеты третьего поколения были активно включены в инновационную деятельность [12]. Обобщая эти подходы, можно утверждать, что современные университеты стремятся к развитию инновационного потенциала, который включает в себя и развитие научных исследований, и формирование культуры инноваций, и рост экономической эффективности.

Тем не менее, как было отмечено выше, использование государственных и частных инструментов развития инновационного потенциала может иметь признаки обратной причинно-следственной связи в связи с тем, что государство и частные инвесторы более заинтересованы финансировать уже успешные вузы. Например, реализация государственного проекта «Приоритет 2030» включает в себя более 100 вузов, из которых 18 вузов – участники трека «Исследовательское лидерство», которые, по данным исследователей [13], внесли существенный вклад в исследовательскую составляющую российских вузов. В рамках трека сформировано три группы вузов, которые определяют размер грантовой поддержки и предполагают возможность ротации. Наиболее высокие показатели научной деятельности сохраняются за университетами Группы 1, которая подвержена минимальным изменениям состава.

Университеты трека «Исследовательское лидерство» включают в себя:

Группа 1: МГТУ им. Н.Э. Баумана, МФТИ, НИЯУ МИФИ, НИТУ «МИСиС», ТГУ, ТПУ, ВШЭ, ИТМО, СПбПУ, УрФУ.

Группа 2: ННГУ, НГУ, Сеченовский университет, РНИМУ им. Н.И. Пирогова.

Группа 3: РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Горный университет, ЮУрГУ, ЮФУ.

Для того чтобы сохранить свои позиции в исследовательском треке, а тем более улучшить их, университеты Группы 2 и Группы 3 должны провести трансформацию практически всех направлений своей деятельности, то есть проанализировать и нарастить свой потенциал для реализации инновационных проектов в области образования и науки. Авторы отмечают, что без внутренней трансформации существующий разрыв между группами будет увеличиваться, особенно с учётом большего финансирования университетов Группы 1, что ещё раз подтверждает тезис об обратной причинно-следственной связи. Тем не менее, даже университеты Группы 1 весьма неоднородны и обладают разными стартовыми возможностями для развития своего инновационного потенциала с учётом особенностей региона, уровня человеческих ресурсов. В связи с этим изучение мирового опыта по использованию инструментов

развития инновационного потенциала является важным и для ведущих университетов Российской Федерации.

К инструментам развития инновационного потенциала вузов исследователи относят внешние инструменты, стимулирующие изменения, например, международные рейтинги или общественные аккредитации, в том числе международные [14]. Высшее образование как стратегическая отрасль развития становится очень значимым для различных групп стейкхолдеров, и наращивание инновационного потенциала вузов становится важным элементом развития государства [2, 11]. Это также связано с тем, что возникла необходимость измерять уровень развития инновационного потенциала через показатели, которые не наблюдаются напрямую [15]. В [15] автор подчеркивает, что подобные ненаблюдаемые показатели могут включать такие индикаторы, как результаты научной деятельности.

В настоящем исследовании авторы изучают вопросы использования международных рейтингов как одного из важных инструментов развития инновационного потенциала, специфичные для отрасли высшего образования.

В целом можно утверждать, что вузы играют значительную роль в инновационном развитии страны, и рассмотрение вопросов развития их инновационного потенциала становится значимой темой для научной дискуссии.

Методология исследования. В рамках исследования авторы использовали метод

научнометрического анализа, по результатам которого были определены группы тем, посвященные международным рейтингам как одному из ключевых инструментов развития инновационного потенциала вузов. Несмотря на недостатки данного метода, научнометрический анализ позволяет определить значимость исследований тех или иных инструментов, принятых в отрасли. Поскольку международные рейтинги являются одним из важных инструментов, которые стимулируют инновационное развитие вузов [17], авторы используют их как основу для понимания направления дальнейших исследований, актуальных для развития инновационного потенциала вузов.

Для реализации цели исследования был осуществлён поиск научных статей с 1999 по 2020 год в базе данных Web of Science по следующим ключевым словам и поисковым операторам: `universit* NEAR ranking$` и параметрам фильтрации, представленным в таблице 1. Временные границы поиска определены периодом до экзогенных шоков, таких как пандемия коронавируса, которые могли повлиять на оценку и представить смещённые результаты. Выбор параметров фильтрации был обусловлен тем, что с начала 2000-х годов наблюдается рост количества международных рейтингов вузов. Поэтому было решено использовать расширенный временной интервал в 20 лет, чтобы иметь возможность отследить наличие некоторых основополагающих публикаций, которые стояли у истоков академической дискуссии по данному вопросу.

Таблица 1

Параметры фильтрации

Источник: составлена авторами

Параметры фильтрации
EDUCATION EDUCATIONAL RESEARCH OR INFORMATION SCIENCE LIBRARY SCIENCE OR COMPUTER SCIENCE INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS OR MANAGEMENT OR ECONOMICS OR COMPUTER SCIENCE INFORMATION SYSTEMS OR SOCIAL SCIENCES INTERDISCIPLINARY OR MULTIDISCIPLINARY SCIENCES OR EDUCATION SCIENTIFIC DISCIPLINES OR COMPUTER SCIENCE ARTIFICIAL INTELLIGENCE OR COMPUTER SCIENCE THEORY METHODS OR OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE OR BUSINESS FINANCE OR STATISTICS PROBABILITY) AND [excluding] PUBLICATION YEARS: (1992 OR 1991 OR 1990 OR 1998 OR 1989 OR 1997 OR 1988 OR 1996 OR 1987 OR 1995 OR 1986 OR 1994 OR 1938 OR 1993 OR 1923). This resulted in 1640 papers found for the analysis

Авторы провели исследование, носящее обзорно-прикладной характер, с применением методов синтеза, описания, сравнения, обобщения результатов. Важность проведения наукометрического анализа состоит в том, чтобы определить спектр исследовательских тем, посвященным инструментам развития инновационного потенциала в высшем образовании.

Полученные результаты. В данном разделе приведён анализ тематических кластеров, полученных в результате использования метода наукометрического анализа. Авторы анализируют каждый кластер и делают обзор наиболее значимых статей в каждом из них для дальнейшего развития научного знания в области изучения инновационного потенциала вузов. Результаты поиска продемонстрировали, что количество публикаций в Web of Science, посвящённых международным рейтингам университетов, стабильно росло, начиная с 1999 года. Формирование тематических кластеров демонстрирует взаимосвязь всех научных публикаций, которые, тем не менее, образуют несколько тематических блоков в рамках общего запроса «международные рейтинги университетов».

На рисунке 2 показана библиографическая карта кластеров научных статей. Следует отметить, что кластеризация подчеркивает, что блоки литературы взаимосвязаны, но при этом образуют несколько самостоятельных тематических блоков. Представленная карта была сформирована в соответствии со следующими параметрами.

1) В карту включена генеральная совокупность научных публикаций Web of Science в рамках заданных параметров поиска, включая публикации с нулевым уровнем цитирования.

2) Узлы на карте смоделированы с учетом метрики «Уровень научного цитирования» для выявления высокоуровневых связей и самых высоко цитируемых научных публикаций. Публикации 2018–2020 годов достаточно заметны на карте при весе узлов карты 0,98.

3) Первоначальная версия кластеров с разрешением 1,00 состояла из более чем двадцати различных кластеров, которые были сгруппированы в четыре кластера при разрешении 0,40. Размер кластера основан на 15 наиболее тесно связанных между собой публикациях.

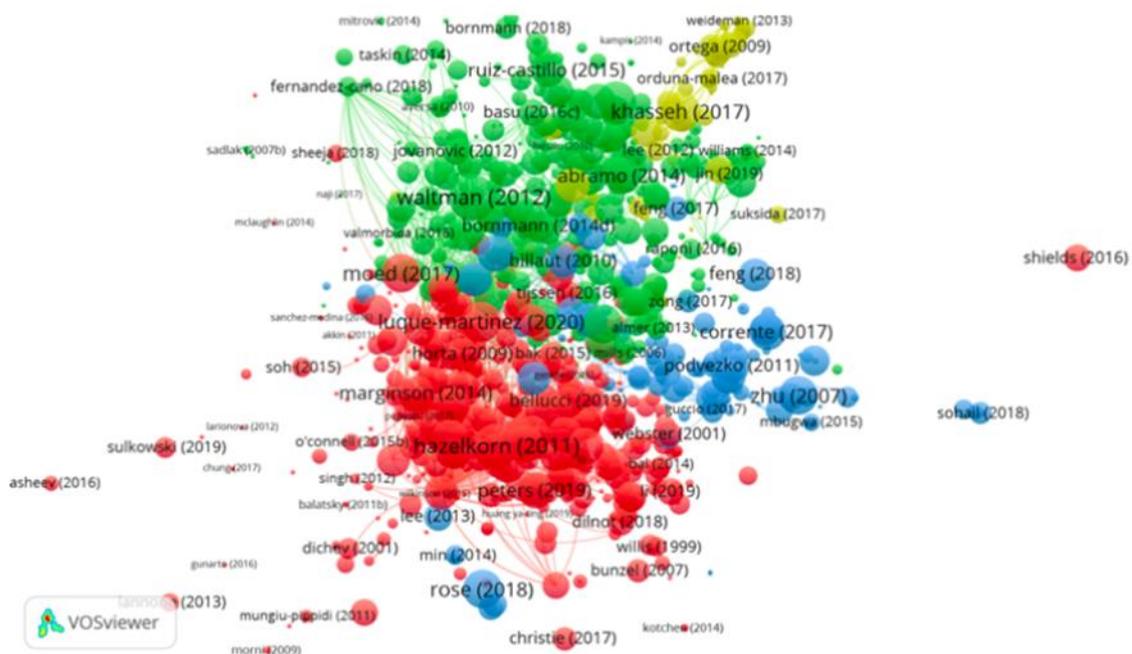


Рисунок 2 – Тематические кластеры, определяющие наиболее цитируемые темы исследований в рамках поискового запроса «международные рейтинги университетов»

Источник: подготовлено авторами с помощью VOSViewer

Библиографическая карта дает возможность рассмотреть, на какие темы делятся исследования в области изучения международных рейтингов, и позволяет сделать выводы о том, что международные рейтинги являются не только частью внешней оценки, но важным инструментом развития инновационного потенциала.

Рисунок 2 демонстрирует, что большинство высоко цитируемых исследований относится к периоду с 2010 по 2020 год. Тем не менее, карта учитывает нормализованный объем научного цитирования (normalized citation index или NCI), который, в соответствии с формулой 1, измеряется как общее количество цитирований научной статьи (n_{paper}), разделенное на средний объем

цитирования всех документов в текущем году ($N_{(average)}$). Это позволяет проконтролировать факт того, что публикации более раннего периода имели больше времени для получения более высокого уровня научного цитирования.

$$NCI = (n_{paper}) / N_{average} \quad (1)$$

В соответствии с рисунком 2, научные темы в рамках поискового запроса формируют четыре тематических кластера, каждый из которых включает в себя наиболее цитируемые темы, связанные с международными рейтингами университетов. Обзор наиболее значимых публикаций в рамках каждого кластера представлен в таблице 2.

Таблица 2

Обзор самых заметных публикаций в рамках каждого кластера

Источник: составлена авторами

Красный кластер	
Тема: Международные рейтинги как инструмент инновационного развития вузов	
Hazelkorn, E. (2011). Rankings and the Reshaping of Higher Education: The Battle for World Class Excellence.	
Методология	Анонимные глубинные интервью и фокус-группы для обсуждения феномена рейтингов. Монография включает анализ влияния рейтингов на репутацию, восприятие ключевыми стейкхолдерами, а также влияние рейтингов на инновационное и стратегическое развитие вузов на международном рынке [18]
Результаты	Представлены в качестве кейсов, которые составляют главы в книге. Данная монография является одной из первых попыток концептуально исследовать феномен международных рейтингов вузов
Marginson, S. (2014). University Rankings and Social Science. <i>European Journal of Education</i> , 49 (1), 45–59. https://doi.org/10.1111/ejed.12061	
Методология	Статья использует качественный анализ 6 ведущих международных рейтингов: ARWU, Leiden University, QS, Scopus, THE и U-Multirank на основе критериев значимости, объективности, внешней оценки методологии, конкурентоспособности, и влияния на инновационного развитие вузов [19]
Результаты	Такие исследовательские рейтинги, как Scimago, ARWU и Leiden, имеют ограничения в плане охвата, так как делают акцент на измерение результатов научной деятельности, таким образом сохраняя значительный вес в научном сообществе. Автор акцентирует внимание на необходимости диверсифицировать метрики, используемые для количественной оценки инновационного развития вузов.

Продолжение таблицы 2

Зеленый кластер	
Тема: Научная деятельность как элемент инновационного потенциала вузов	
Abramo, G., D'Angelo, C.A. How do you define and measure research productivity? <i>Scientometrics</i> 101, 1129–1144 (2014). https://doi.org/10.1007/s11192-014-1269-8	
Методология	В статье используются библиометрические показатели публикационной активности сотрудников в качестве индикатора научной деятельности вузов, в зависимости от предметного поля. В исследовании предлагается использовать методологию, основанную на принципах использования показателей экономической деятельности в отношении результатов научных исследований, и вводится понятие «относительная научная продуктивность» [20]
Результаты	Данный метод может применяться на различных уровнях анализа - от отдельных членов профессорско-преподавательского состава до государственного уровня. Приводится пример применения метода в итальянских университетах.
Желтый кластер	
Тема: Измерение восприятия вузов внешней средой	
Aguillo, I. (2009), Measuring the institution's footprint in the web. <i>Library Hi Tech</i> , Vol. 27. No. 4, pp. 540-556.	
Методология	В статье представлен инновационный подход к системе оценки академической деятельности университетов на основе показателей, полученных из интернета, направленный на более широкое использование возможностей информационных систем в академической сфере. Методологический подход предполагает разработку и тестирование показателей инновационного развития, полученных в результате обработки данных из сети «Интернет» [21]
Результаты	Результаты исследования выявили значительные различия между североамериканскими и европейскими университетами в отношении представления результатов научных исследований.
Голубой кластер	
Тема: Оценка инновационного потенциала вузов с применением математических моделей	
Dong, L., Gu, X., Wu, X., & Liao, H. (2019). An improved MULTIMOORA method with combined weights and its application in assessing the innovative ability of universities. <i>Expert Systems</i> , e12362. doi:10.1111/exsy.12362.	
Методология	В статье проводится оценка инновационного потенциала университетов как классический пример проблемы принятия решений (MADM), когда решения принимаются под влиянием нескольких критериев. При анализе данных, полученных в результате интервью и статистических данных 26 китайских университетов, используются эконометрические методы [22]
Результат	В результате применения метода MULTIMOORA авторы разработали систему показателей оценки инновационного потенциала 26 китайских университетов и представили результаты их сильных сторон и областей развития.

Красный кластер (1) объединяет в себе научные публикации, которые посвящены исследованиям международных рейтингов как инструмента инновационного и стратегического развития университетов. Наиболее заметные публикации внутри кластера обсуждают значимость рейтингов для

формирования культуры инноваций внутри университетов [15], а также обращают внимание на методологические ограничения, которые присущи международным рейтингам [17], и риски, связанные с чрезмерной унификацией университетов и их делением на «лучшие» и все остальные [19]. Темы

исследований внутри красного тематического кластера являются основообразующими для дальнейших эмпирических исследований роли инструментов развития инновационного потенциала университетов.

Зелёный кластер (2) включает в себя исследования, посвящённые научной деятельности как важному компоненту, стимулирующему развитие инновационного потенциала университетов, что является важной составляющей методологии международных рейтингов. Например, Абрамо и Д'Анджело [20] предложили индикаторы, которые позволяют оценить научную деятельность через систему нормализованных показателей. Авторы подчёркивают важность показателей экономической деятельности университетов для проведения активной научной деятельности. Кроме того, они признают, что показатели научной деятельности могут зависеть от специфики предметной области. Данная научная работа является ключевой для подготовки методических рекомендаций о том, каким образом результаты научной деятельности могут количественно оцениваться в различных областях научного знания и формировать новые рейтинги вузов.

Исследования в рамках жёлтого кластера (3) включают в себя научные работы по рейтингам восприятия вузов внешней средой, что позволяет говорить о важности инновационного потенциала для будущих студентов и партнёров в качестве «сигнала» о более высоком уровне по сравнению с конкурентами. Например, исследование Агильо 2009 года [21] стало отправной точкой к формированию различных рейтингов представленности вузов в сети «Интернет». Исследования внутри жёлтого кластера призывают к более активному использованию открытых данных, доступных в сети «Интернет» как эмпирической базы для будущих исследований (например, базы Google Scholar, Dimensions AI и другие).

Голубой кластер (4) представляет собой группу эмпирических исследований, которые активно используют методы математического моделирования для оценки рейтингов

инновационного развития университетов. Наиболее цитируемое исследование Донга и др. [22] предлагает модель оценки уровня инновационного потенциала вузов на основе метода MULTIMOORA и эмпирически тестирует его на выборке 26 китайских университетов. Исследование предоставляет возможность дальнейшего обсуждения инструментов развития инновационного потенциала университетов и определения его уровня через перечень измеримых показателей.

Кроме того, следует выделить две публикации, которые выделяются на карте самых цитируемых публикаций в рамках поискового запроса (рисунок 3). К ним относятся публикации авторов Луке-Мартинеса и Фарони 2020 года и Питерса 2019 года. Обе научные работы переосмысливают подходы к исследованию феномена международных рейтингов, но с разных точек зрения. Питерс [19] рассматривает международные рейтинги как явление, которое было задумано как практический инструмент инновационного и стратегического развития, положивший начало глобализации высшего образования. Автор приходит к выводу, что за последнее десятилетие исследования международных рейтингов университетов стали многообразными, что позволяет выделять их в самостоятельное направление исследований. Автор поддерживает вывод Альзафари о возможности изучать аспекты высшего образования в различных предметных областях, таких как экономика или управление.

Исследование Луке-Мартинеса и Фарони [23] предлагает рассмотреть методологию мета-рейтинга для перспективных направлений исследований, которая предполагает объединение различных аспектов методологий, используемых в известных международных рейтингах вузов, а также включает в себя формирование кластеров наиболее инновационных факультетов.

Тематические кластеры находятся достаточно близко друг к другу, но отнесение научных статей к тому или иному тематическому кластеру оправдано с точки зрения целей и задач исследований.

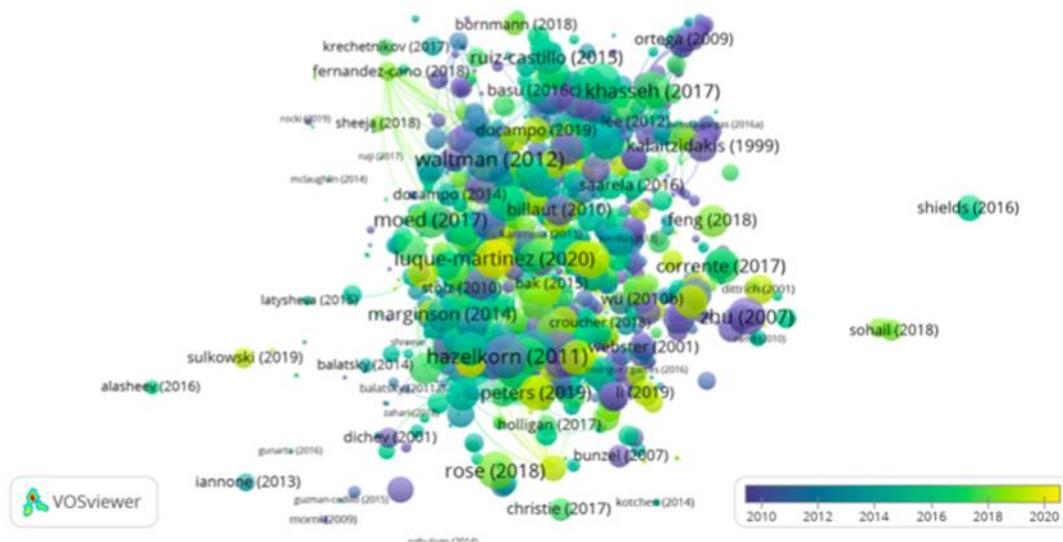


Рисунок 3 – Самые цитируемые статьи в тематических кластерах

Источник: подготовлено авторами, с помощью VOSViewer

Выводы и рекомендации. В данной работе были представлены основные тематические кластеры научных исследований, которые изучают международные рейтинги вузов как один из ключевых инструментов развития инновационного потенциала. Важным выводом из наукометрического анализа является то, что международные рейтинги признаются инструментом развития инновационного потенциала в научном сообществе. Тем не менее, исследователи отмечают их методологические ограничения и лимитированную способность учитывать стратегические особенности и изменения в университетах и иные факторы внутренней и внешней среды.

Наиболее цитируемые исследования в рамках кластеров применяют как качественные, так и количественные методы анализа, что отчасти подтверждает дихотомию понятия «инновационный потенциал» в отношении того, что его можно рассматривать как процесс и анализировать глубинные паттерны, как в Красном или Желтом кластере, так и количественно оценивать результаты использования этого инструмента на примере исследования Голубого и Зеленого кластера. Тем не менее, отмечается, что исследования не уделяют достаточно внимания комплексной оценке инновационного потенциала вузов, которая позволила бы структурировать эту деятельность и полноценно интегрировать в институциональную среду в соответствии с ресурсным подходом [10].

Результаты исследования подчеркивают, что международные рейтинги используются вузами в качестве инструмента развития своего инновационного потенциала посредством принятия значимых стратегических инициатив и привлечения дополнительного финансирования путем участия в крупных государственных программах, что способствует как организационным изменениям, так и росту научной деятельности [13]. Тем не менее, использование подходов международных рейтингов в качестве одного из ключевых инструментов для развития инновационного потенциала вузов требует осмысленного и взвешенного подхода, поскольку наряду с положительным влиянием существующие рейтинги характеризуются нестабильностью и склонны к унификации вузов без учета особенностей их внутренней и внешней среды.

Таким образом, по итогам проведенного исследования может быть предложена комплексная система рейтингов с прозрачной методологией, позволяющая классифицировать университеты по уровням исследовательской или образовательной деятельности с учетом специфики предметной области и региональных условий [20, 22]. Такая система может успешно применяться в масштабных национальных проектах, таких как программа «Приоритет 2030» или иных аналогичных инициативах. Вместе с тем, осознавая склонность действующих рейтинговых систем к унификации, вузам рекомендуется расширять

арсенал инструментов развития инновационного потенциала, ориентируясь на собственные стратегические приоритеты и особенности своей предметной сферы. Таким образом

вузы имеют возможность максимально нарастить и реализовать свой инновационный потенциал в сочетании со своими собственными планами и стратегией развития.

Список источников

1. OECD. Tertiary Graduates by Field (Indicator). 2022. – DOI: 10.1787/9af26c71-en. – Текст: электронный. (In Eng.).
2. Ефремова П. В., Романова И. М. К вопросу оценки инновационной деятельности вуза: мировой и отечественный опыт формирования системы показателей // *Инновации*. – 2015. – № 2 (196). – С. 22–27.
3. Зунтова И. С., Веселовский М. Я. Инновационная оценка и анализ уровня результативности деятельности университета // *Вестник Государственного университета просвещения*. Серия: Экономика. – 2024. – № 4. – С. 58–69.
4. Хамирзова С. К., Хабекирова З. С. Развитие инновационной активности российских университетов в современных условиях // *Вестник Адыгейского государственного университета*. Серия 5: Экономика. – 2024. – № 4 (342). – С. 97–107.
5. Iacuzzi S., Fedele P., Garlatti A.). Using Accreditation to Leverage Innovation in Healthcare: Evidence from an Oncological Centre // *International Journal of Public Administration*. – 2020. – DOI:10.1080/01900692.2020.1795671. – Текст: электронный. (In Eng.).
6. Друкер П. *Инновации и предпринимательство: практика и принципы*. – Москва: Вильямс, 2007.
7. Nelson P. Information and Consumer Behavior // *Journal of Political Economy*. – 1970. – № 78 (2). – С. 311–329. – DOI: 10.1086/259630. – Текст: электронный. (In Eng.).
8. Адушкин И. И. Сущность понятия инновационного потенциала // *Решетневские чтения*. – 2013. – Т. 2. – Вып. 17. – С. 434–436.
9. Жиц Г. И. Способности и ресурсы: продолжение рассуждений о методологии оценки инновационного потенциала социально-экономических систем различного уровня сложности // *Инновации*. – 2008. – № 5. – С. 92–95.
10. Barney J. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage // *Journal of Management*. – 1991. – Vol. 17. (In Eng.).

References

1. OECD. Tertiary Graduates by Field (Indicator). 2022. DOI:10.1787/9af26c71-en
2. Efremova P. V., Romanova I. M. About Innovation Activities of a University: Global and National Experience of the Indicators. *Innovatsii*. 2015. No. 2 (196). pp. 22–27. (In Russ.).
3. Zuntova I. S., Veselovsky M. Ya. Innovative Assessment and Analysis of the Effectiveness Level of University Activities. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta prosvescheniya. Series: Economics*. 2024. No. 4. pp. 58–69. (In Russ.).
4. Khamirzova S. K., Khabechirova Z. S. Development of Innovative Activity of Russian Universities in Modern Conditions. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Series 5: Economy*. 2024. No. 4 (342). pp. 97–107. (In Russ.).
5. Iacuzzi S., Fedele P., Garlatti A. Using Accreditation to Leverage Innovation in Healthcare: Evidence from an Oncological Centre. *International Journal of Public Administration*. 2020. DOI:10.1080/01900692.2020.1795671
6. Druker P. *Innovations and Entrepreneurship: Practice and Principles*. *Moskva: Vil'yams*. 2007.
7. Nelson P. Information and Consumer Behavior // *Journal of Political Economy*. 1970. No. 78 (2). pp. 311–329. DOI: 10.1086/259630.
8. Adushkin I. I. Essence of Innovation Potential. *Reshetnevskie chteniia*. 2013. Vol. 2. No. 17. pp. 434–436. (In Russ.).
9. Zhits G. I. Capabilities and Resources: Continuing Thinking About Methodology of Evaluation of Innovation Potential of Social and Economic Systems. *Innovatsii*. 2008. No. 5. pp. 92–95. (In Russ.).
10. Barney J. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*. 1991. Vol. 17.

11. Кучеренко О. В., Завадская В. В. Инновации в образовании как основа развития предпринимательства // СТЭЖ. – 2015. – № 2 (21).
12. Akcil U., Suhanberdyeva, D. (2022). Research on University Profiles About Entrepreneurship and Innovation Orientation: Case of a Developing Country // *Frontiers in Psychology*. – 2022. – Т. 13. – DOI:10.3389/fpsyg.2022.968996. – Текст: электронный. (In Eng.).
13. Гусева А. И., Калашник В. М., Каминский В. И., Киреев С. В. Первый год реализации программы «Приоритет-2030»: позитивные результаты и проблемные направления университетов исследовательского трека // *Высшее образование в России*. – 2023. – Т. 32. – № 3. – С. 9–25. – DOI:10.31992/0869-3617-2023-32-3-9-25. – Текст: электронный.
14. Harvey L., Stensaker B. Quality Culture: Understandings, Boundaries and Linkages // *European Journal of Education*. – 2008. – № 43 (4). – С. 427–442. (In Eng.).
15. Bloch C., Degn L., Nygaard S., Haase, S. Does Quality Work Work? A Systematic Review of Academic Literature on Quality Initiatives in Higher Education // *Assessment & Evaluation in Higher Education*. – 2021. – № 46 (5). – С. 701–718. – DOI: 10.1080/02602938.2020.1813250. – Текст: электронный. (In Eng.).
16. Efimova I. University Rankings as Instruments for the Reform of the System of Higher Education in the Global Context // *Russian Education & Society*. – 2014. – № 56. – С. 15-39. – DOI: 10.2753/RES1060-9393560702. – Текст: электронный. (In Eng.).
17. Hazelkorn E. (2011). Globalization and the Reputation Race. In E. Hazelkorn (Ed.), *Rankings and the Reshaping of Higher Education: The Battle for World-Class Excellence* (pp. 4–28). Palgrave Macmillan UK. – DOI: 10.1057/9780230306394_2. – Текст: электронный. (In Eng.).
18. Marginson S. University Rankings and Social Science // *European Journal of Education*. – 2014. – № 49 (1). – С. 45–59. – DOI: 10.1111/ejed.12061. – Текст: электронный. (In Eng.).
19. Peters M. A. Global University Rankings: Metrics, Performance, Governance // *Educational Philosophy and Theory*. – 2019. – № 51 (1). – С. 5–13. – DOI: 10.1080/00131857.2017.1381472. – Текст: электронный. (In Eng.).
11. Kucherenko O. V., Zavadskaja V. V. Innovations In Education As A Basis For Development Of Entrepreneurship. *STZH*. 2015. No. 2 (21). (In Russ.).
12. Akcil U., Suhanberdyeva D. Research on university profiles about entrepreneurship and innovation orientation: Case of a developing country. *Frontiers in Psychology*. 2022. Vol. 13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.968996
13. Guseva A. I., Kalashnik V. M., Kaminskii V. I., Kireev S. V. The First Year of Implementation of the Priority 2030 Program: Positive Results and Problem Areas of Research Track Universities. *Vysshoe obrazovanie v Rossii*. 2023. Vol. 32. No. 3. pp. 9–25. DOI:10.31992/0869-3617-2023-32-3-9-25. (In Russ.).
14. Harvey L., Stensaker, B. Quality Culture: Understandings, Boundaries and Linkages. *European Journal of Education*. 2008. No. 43 (4). pp 427–442.
15. Bloch C., Degn L., Nygaard S., Haase, S. Does Quality Work Work? A Systematic Review of Academic Literature on Quality Initiatives in Higher Education. *Assessment & Evaluation in Higher Education*. 2021. No. 46 (5). pp. 701–718. – DOI: 10.1080/02602938.2020.1813250.
16. Efimova I. University Rankings as Instruments for the Reform of the System of Higher Education in the Global Context. *Russian Education & Society*. 2014. No. 56. pp. 15-39. DOI: 10.2753/RES1060-9393560702.
17. Hazelkorn, E. (2011). Globalization and the Reputation Race. In E. Hazelkorn (Ed.), *Rankings and the Reshaping of Higher Education: The Battle for World-Class Excellence* (pp. 4–28). Palgrave Macmillan UK. DOI: 10.1057/9780230306394_2
18. Marginson S. University Rankings and Social Science. *European Journal of Education*. 2014. No. 49 (1). pp. 45–59. DOI: 10.1111/ejed.12061.
19. Peters M. A. Global University Rankings: Metrics, Performance, Governance. *Educational Philosophy and Theory*. 2019. No. 51 (1). pp. 5–13. DOI: 10.1080/00131857.2017.1381472.

20. Abramo G., D'Angelo C.A. How Do You Define and Measure Research Productivity? // *Scientometrics*. – 2014. – Т. 101. – С. 1129–1144. – DOI: 10.1007/s11192-014-1269-8. – Текст: электронный. (In Eng.).
21. Aguillo I. Measuring the Institution's Footprint in the Web // *Library Hi Tech*. – 2009. – Т. 27. – № 4. – С. 540–556. – DOI: 10.1108/073788309. – Текст: электронный. (In Eng.).
22. Dong L., Gu X., Wu X., Liao H. An Improved MULTIMOORA Method with Combined Weights and its Application in Assessing the Innovative Ability of Universities // *Expert Systems*. – 2019. – DOI:10.1111/exsy.12362. – Текст: электронный. (In Eng.).
23. Luque Martínez T. Faraoni N. Meta-Ranking to Position World Universities // *Studies in Higher Education*. – 2019. – Т. 45. – С. 1–15. – DOI: 10.1080/03075079.2018.1564260. – Текст: электронный. (In Eng.).
20. Abramo G., D'Angelo C.A. How Do You Define and Measure Research Productivity? // *Scientometrics*. 2014. Vol. 101. pp. 1129–1144. DOI: 10.1007/s11192-014-1269-8.
21. Aguillo I. Measuring the Institution's Footprint in the Web. *Library Hi Tech*. 2009. Vol. 27. No. 4. pp. 540–556. DOI: 10.1108/073788309.
22. Dong L., Gu X., Wu X., Liao H. An Improved MULTIMOORA Method with Combined Weights and its Application in Assessing the Innovative Ability of Universities. *Expert Systems*. – 2019. – DOI:10.1111/exsy.12362.
23. Luque Martínez T. Faraoni N. Meta-Ranking to Position World Universities. *Studies in Higher Education*. 2019. Vol. 45. pp. 1–15. – DOI: 10.1080/03075079.2018.1564260.

Научная статья
УДК 378.147
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-17-26

ВЛИЯНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

*Артем Андреевич Бредихин¹, Юлия Константиновна Михолажина²,
Елена Викторовна Будрина³*

^{1,2,3}Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

¹Bredikhin@smtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2168-9367>

²Mikholazhina@smtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5222-8160>

³boudria@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6719-7264>

Язык статьи – русский

Аннотация: В статье приведены результаты исследования двух подходов к организации корпоративного обучения: с использованием традиционных методов обучения - лекционных и практических занятий, и инновационных с использованием виртуальной реальности (VR). Целью исследования являлась оценка эффективности обучения специалистов в профессиональной сфере с использованием технологии виртуальной реальности (VR) и определение перспектив применения технологии и других инновационных методов, основанных на информационных технологиях, существенно улучшающих результаты корпоративного обучения. Эксперимент, как метод исследования, проведен в группе сотрудников строительной компании в период обучения в корпоративной программе, имеющей целью развить навыки и умения использования приложения по проектированию систем обеспечения в объектах строительства и развитию коммуникативных навыков в профессиональной виртуальной среде. Результатом исследования стала доказательная статистика, полученная по окончании программы в ходе опроса обучаемых, которая подтвердила гипотезу исследования о том, что инновационные технологии и частности VR-обучение повышает мотивацию обучаемых на 36%, вовлеченность на 63% и эффективность усвоения материала на 21% по сравнению с традиционными методами. Результаты подтверждают, что использование VR-технологии не только оптимизирует учебные процессы, но и становится стратегическим инструментом формирования конкурентоспособности работников

Ключевые слова: виртуальная реальность, методы корпоративного обучения, эффективность управления

Ссылка для цитирования: Бредихин А. А., Михолажина Ю. К., Будрина Е. В. Влияние виртуальной реальности на эффективность процессов корпоративного обучения // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 17–26. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-17-26>.

THE IMPACT OF VIRTUAL REALITY ON THE EFFECTIVENESS OF CORPORATE TRAINING PROCESSES

Artem A. Bredikhin¹, Yulia K. Mikholazhina², Elena V. Budrina³

^{1,2,3}St. Petersburg State Marine Technical University (SMTU), Saint Petersburg, Russia

¹Bredikhin@smtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2168-9367>

²Mikholazhina@smtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5222-8160>

³boudria@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6719-7264>

Article in Russian

Abstract: The article presents the results of a study of two approaches using traditional teaching methods – lectures and practical classes, and innovative ones using virtual reality (VR). The purpose of the study was to evaluate the effectiveness of training specialists in the professional field using virtual reality (VR) technology and to determine the prospects for using technology and other innovative methods based on information technology, significantly improving the results of corporate training. The experiment, as a research method, was conducted in a group of employees of a construction company during the training period in a corporate program aimed at developing skills and abilities in using an application for designing support systems at construction sites and developing communication skills in a professional virtual environment. The result of the study was evidence-based statistics obtained at the end of the program during a survey of trainees, which confirmed the research hypothesis that innovative technologies and, in particular, VR training increases trainee motivation by 36%, engagement by 63% and the efficiency of learning by 21% compared to traditional methods.

The results confirm that the use of VR technology not only optimizes educational processes, but also becomes a strategic tool for managing the professional development of personnel.

Keywords: corporate training methods, management efficiency, virtual reality

For citation: Bredikhin A. A., Mikholazhina Yu. K., Budrina E.V. The Impact of Virtual Reality on the Effectiveness of Corporate Learning Processes. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 17–26. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-17-26>.

Введение. В эпоху цифровой трансформации формирование профессиональных компетенций работников целесообразно осуществлять за счет внедрения технологий, способных не только повысить эффективность обучения, но и создать устойчивое конкурентное преимущество. VR-технологии (Virtual Reality, технологии виртуальной реальности), обеспечивающие иммерсивный опыт, расширяют границы корпоративного обучения, превращая его в инструмент стратегического развития.

Традиционные подходы к обучению теряют актуальность из-за низкой вовлеченности сотрудников и сложности в моделировании реальных быстроменяющихся рабочих сценариев. VR предлагает решение этих проблем, открывая новые возможности, в том числе:

- создание безопасных сред для тренировки критических навыков;
- персонализация обучения через адаптивные и гибкие VR-сценарии;
- интеграция геймификации для повышения мотивации.

Обзор состояния проблемы исследования. Инновации в обучении присущи современному этапу развития экономики как элемент четвертой промышленной революции [1], фундаментально меняя подходы к развитию персонала. В центре внимания – технологии, которые предлагают новые возможности для персонализации и создания иммерсивных обучающих сред. Одним из таких инструментов является виртуальная реальность (VR) как развивающаяся трансформация дополненной реальности (AR), которая уже доказала свою эффективность в различных отраслях.

Возникновение, эволюция и формирование как отдельного научного направления технологий класса VR и AR связано с взрывным развитием информационно-компьютерных технологий и техники. Наиболее известными являются труды таких ученых как Барнея Далгарно, Марка Ли [2] в начале

формирования интереса к проблеме, Эдварда Деки и Ричарда Рэйна [3], в углублении масштабирования исследований в этой области – Келлера Дж. М. [4], Пантелидиса В. С. [5], Херпера В., Байленсона Дж. Н, Вайза И., Шгла И, Заки Дж. [6]. Раскрытие практических преимуществ использования иммерсивных технологий в среде реального бизнеса и дополнительного образования привело к всплеску исследований и в России направлений, сфер, и конкретных целей обучения с использованием этих технологий, что отражено в работах Махлиной С. Т. [7], Павловой Е. Б., Лебедевой И. С. [8], и многих других ученых и исследователей.

Базовый принцип выбора – виртуальные и дополненные среды позволяют моделировать комплексные производственные процессы, интегрируя знания и навыки из различных областей [9], что дает возможность формировать у сотрудников целостное понимание специфики работы и развивать профессиональные компетенции. Кроме того, VR позволяет проводить виртуальные тренировки, снижая риски и затраты на реальное тестирование навыков [2]. Выделенные преимущества делают перечисленные иммерсивные технологии важным инструментом для HR-менеджеров, стремящихся повысить готовность сотрудников к вызовам современного бизнеса.

Методы исследования. В рамках исследования проведена оценка влияния VR на мотивацию, вовлеченность и эффективность персонала в виде эксперимента в процессе и после корпоративного обучения. Цель эксперимента заключалась в сравнении эффективности VR-обучения с традиционными методами обучения. Исследование проводилось среди 30 сотрудников строительной компании, которые были случайным образом разделены на две группы: экспериментальную (15 человек, обучение с использованием VR) и контрольную: 15 человек, обучение с использованием традиционных методов, таких

как лекции и практические задания, самостоятельная работа). В эксперименте участвовали лица мужского и женского пола в возрасте от 23 до 45 лет, из них 70% – мужчин, средний стаж работы в организации – 5 лет. Все участники подписали информированное согласие, данные анонимизированы, участники могли выйти из исследования в любой момент по желанию.

Последовательная реализация исследования в виде эксперимента проходила через этапы: подготовительный (погружающий), основной (обучающий), и заключительный (самооценка) и подведение общих итогов.

В ходе подготовительного этапа в качестве метода предварительной оценки использовалось тестирование базовых знаний и имеющихся профессиональных компетенций в области тематики программы корпоративного обучения. Проводимая таким образом оценка уровня базовых знаний и профессиональных компетенций необходима по окончании эксперимента для сравнения результатов обучения и разработки индивидуальной программы карьерного роста.

Процесс обучения участников эксперимента проводился с использованием метода разделения на две подгруппы. Экспериментальная группа работала с использованием технологий и среды виртуальной реальности (VR), где были смоделированы рабочие задачи, связанные с техникой безопасности на объекте. Такой подход позволил участникам погрузиться в реалистичные сценарии и практиковаться в безопасной среде. Контрольная группа, обучалась традиционными методами: лекционные, практические занятия с использованием презентаций и письменных материалов.

На заключительном этапе участники проходили итоговое контрольное тестирование, позволяющее оценить уровень освоения материала. По окончании обучения всем участникам объединенной группы было предложено пройти опрос для оценки мотивации, вовлеченности, и эффективности процесса обучения. По окончании письменного опроса с каждым участником экспериментальной группы было проведено интервью, для оценки респондентами опыта использования VR в корпоративном обучении,

выявления сильных и слабых сторон виртуального метода.

Для оценки статистической значимости различий между VR-группой и контрольной группой был применен t-критерий Стьюдента [10]. Данный метод позволил сравнить средние значения ключевых показателей – мотивации, вовлеченности и эффективности обучения – и установить, насколько различия между группами обусловлены внедрением VR-технологий, а не случайными факторами.

Результаты исследования. Исследование проводилось для оценки мотивации, вовлеченности и эффективности корпоративного обучения на основе сравнения традиционных и инновационных методов обучения. Мотивация выступала ключевым фактором, определяющим готовность сотрудников участвовать в обучении и их способность усваивать новые знания. Для оценки мотивации использовалась адаптированная шкала Лайкерта, которая позволила измерить, насколько участники были заинтересованы, находили обучение значимым, полезным для работы, чувствовали уверенность и испытывали удовлетворение от процесса.

Средний балл мотивации в группе с применением VR в процессе обучения составил 4,5 (по 5-балльной шкале) против 3,3 в контрольной группе с использованием при обучении традиционных методов ($p < 0,01$), 80% участников отметили, что использование VR в обучении повысило их интерес к обучению. Высокий уровень мотивации в VR-группе (4,5 по 5-балльной шкале) объясняется тем, что VR-технологии удовлетворяют базовые психологические потребности участников. Самодетерминация основана на удовлетворении базовых психологических потребностей – автономии, компетентности и связанности, которые являются ключевыми для внутренней мотивации [3], что существенно повлияло на вовлеченность, запоминаемость и восприятие. В исследовании использование VR-технологии предоставило участникам возможность самостоятельно взаимодействовать с контентом, самостоятельно принимать решение, что стимулировало их интерес к обучению.

Вовлеченность как состояние, в котором люди стремятся выполнять работу как можно лучше и достигать результатов, отражает

степень эмоционального и когнитивного участия сотрудников в процессе обучения измерялась с помощью опросника по 5-балльной шкале Лайкерта, а также качественных данных из интервью. 93% участников группы, обучавшейся с использованием VR-технологии, и только 57% обучавшихся с использованием традиционных методов отметили, что обучение было «увлекательным».

Эффективность обучения оценивалась также с использованием метода тестирования, по специально разработанному опроснику, основанному на модели ARCS (Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction) [4], предложенной Джоном Келлером, что позволило измерить прирост знаний и навыков участников. Средний балл по результатам тестирования обучавшихся в группе на основе VR-технологии составил 86% и 71% в группе с использованием традиционных технологий ($t = 3.85$, $p < 0.01$), где t – расчетное значение тестовой статистики, которое показывает, насколько сильно различаются средние значения двух групп относительно их вариабельности (стандартного отклонения).

Для проверки гипотез о равенстве средних значений двух независимых выборок

использовался t -критерий Стьюдента. Расчетное значение t -критерия сравнивается с критическим значением, и, если оно превышает критическое значение, нулевая гипотеза отвергается. P -значение представляет собой вероятность того, что при справедливости нулевой гипотезы будут получены результаты, не менее экстремальные, чем фактически наблюдаемые. Если p -значение оказывается меньше заранее выбранного уровня значимости α , то нулевая гипотеза отвергается [11].

P -значение (англ. P-value) представляет собой вероятность получения наблюдаемых или более экстремальных результатов при условии, что нулевая гипотеза (H_0) является истинной. Этот показатель используется для оценки статистической значимости результатов исследования: чем меньше p -значение, тем больше оснований отвергнуть нулевую гипотезу в пользу альтернативной (H_1).

В рамках исследования сравнивалась эффективность VR-обучения с традиционными методами (таблица 1). Нулевая гипотеза (H_0) предполагала отсутствие различий между группами. Полученное p -значение меньше 0,01 позволило отвергнуть H_0 , подтвердив статистическую значимость преимуществ VR-обучения.

Таблица 1

Сравнение результатов корпоративного обучения участников групп с применением VR-технологии и традиционных методов обучения (n=30)

Источник: составлена авторами

Показатель	По группе с использованием VR-технологии (n=15)	По группе с использованием традиционных методов (n=15)	p-значение
Мотивация	4,5 ± 0,6	3,3 ± 0,8	<0,01
Вовлеченность	4,4 ± 0,7	3,1 ± 0,9	<0,01
Эффективность	86% ± 11%	71% ± 13%	<0,01

Результаты обработки данных эксперимента подтвердили, что VR-технологии демонстрируют значительное превосходство над традиционными методами обучения, особенно в задачах, требующих практического применения знаний в корпоративном обучении [5]. Различия в показателях по группе

обучавшейся с использованием VR-технологии и группой, обучавшейся с использованием традиционных методов, оказались статистически значимыми ($p < 0,01$), что позволяет сделать вывод о безусловном положительном влиянии VR-технологии на качество корпоративного обучения (рисунок 1).

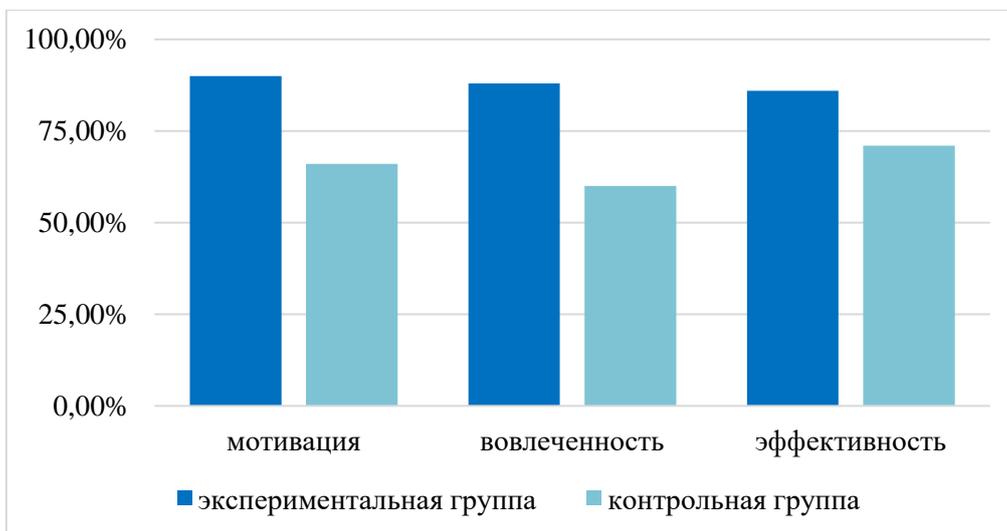


Рисунок 1 – Сравнение показателей мотивации, вовлеченности и эффективности корпоративного обучения, по результатам проведенного эксперимента

Источник: составлен авторами

Рост показателей мотивации, вовлеченности и эффективности обучения с использованием VR-технологии объясняется иммерсивностью и интерактивностью. Эти свойства современных информационных технологий создают условия для более глубокого погружения в изучаемый материал и повышения интереса к обучению, в том числе профессиональному и корпоративному.

Виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR) становятся ключевыми инструментами для преобразования строительной отрасли, предлагая инновационные подходы к проектированию,

визуализации, обучению и взаимодействию между всеми участниками процесса. Эти технологии обеспечивают новые возможности для более глубокой проработки проектов и оптимизации рабочих процессов. Особенно заметным является интерес к использованию VR-решений в процессе проектирования, где они позволяют не только визуализировать будущее здание, но и провести иммерсивное согласование решений с заказчиком и другими участниками [12], что подтверждается данными об уровне использования цифровых технологий для проектирования в строительстве (рисунок 2).

Уровень внедрения цифровых технологий в строительстве

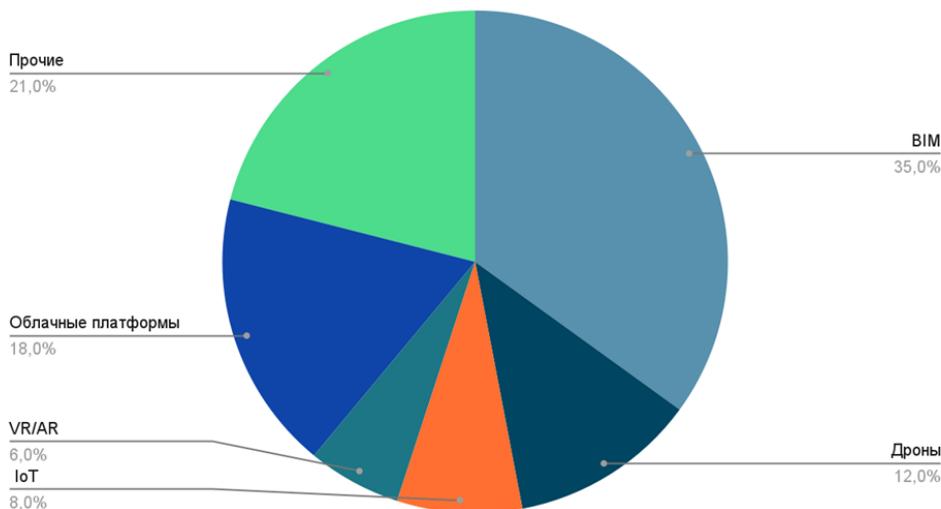


Рисунок 2 – Уровень внедрения цифровых технологий в строительстве

Источник: по данным ВЭБ.РФ, 2023 [13]

Исследования [14] показывают (таблица 2), что заказчики ценят возможность «погрузиться» в проект до начала строительства, чтобы лучше понять, как будет выглядеть и

функционировать объект. Это создаёт предпосылки для использования VR-приложений в качестве одного из ключевых инструментов взаимодействия с клиентом [12].

Таблица 2

Результаты анкетирования заказчиков (n=20)

Источник: составлена авторами

Вопрос	Ответы
Хотели бы вы участвовать в согласовании проекта в формате VR?	Да – 82% Нет – 18%
Насколько важно для вас наглядное представление проекта? (шкала 1–5)	4,5 в среднем
Как часто вы сталкиваетесь с ошибками в проектной документации?	Почти всегда – 24%, Иногда – 56%, Никогда – 20%
Готовы ли вы финансировать внедрение новых технологий?	Да – 67% Нет – 33%

Ошибка на этапе строительства может обойтись организации значительно дороже, чем корректировка на начальных этапах (таблица 3). Например, исправление ошибки на

стадии проектирования стоит около 5–10 тыс. руб., тогда как аналогичная доработка уже на этапе строительства может достигать 300–500 тыс. руб. и более.

Таблица 3

Стоимость ошибок на разных этапах процесса строительства

Источник: составлена авторами

Этап	Средняя стоимость корректировки	Примеры
Предпроектная подготовка	5–10 тыс. руб.	Изменение планировки, расположение оборудования
Проектирование	20–50 тыс. руб.	Коррекция чертежей, изменение материалов
Строительство	200–500 тыс. руб.	Переделка коммуникаций, изменение конструкций
Эксплуатация	500+ тыс. руб.	Модернизация, ремонт, реконструкция

По данным опроса 150 проектных организаций [14, 15] время согласования проектных решений, зависит от типа используемых иммерсивных технологий и инструментов (таблица 4). Такие данные подтверждают, что использование VR-инструментов позволяет не только сократить время согласования, но и повысить уровень вовлечённости и удовлетворённости заказчика.

Согласно исследованию McKinsey &

Company, 2022 года [15], внедрение VR/AR-решений в строительстве позволяет снизить количество ошибок до 80%, а также повысить точность выполнения работ и сократить время согласования. В таблице 5 приведены средние величины показателей эффективности и продуктивности внедрения VR/AR технологий. Статистика по использованию VR/AR в строительстве в России представлена на рисунке 3.

Таблица 4

Время согласования проекта в зависимости от инструментов

Источник: составлена авторами

Используемые инструменты	Среднее время согласования	Степень удовлетворённости заказчика (1–5)
2D-чертежи	22 дня	2,8
3D-модель + PDF	15 дней	3,4
VR-среда	9 дней	4,7

Таблица 5

Средние величины показателей эффективности и продуктивности внедрения VR/AR технологий

Источник: составлена авторами

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение (%)
Время согласования	20 дней	8 дней	↓ 60%
Количество исправлений	12 шт.	3 шт.	↓ 75%
Уровень удовлетворённости заказчика (шкала 1–5)	3,2	4,7	↑ 47%
Стоимость корректировок	780 тыс. руб.	190 тыс. руб.	↓ 75.6%

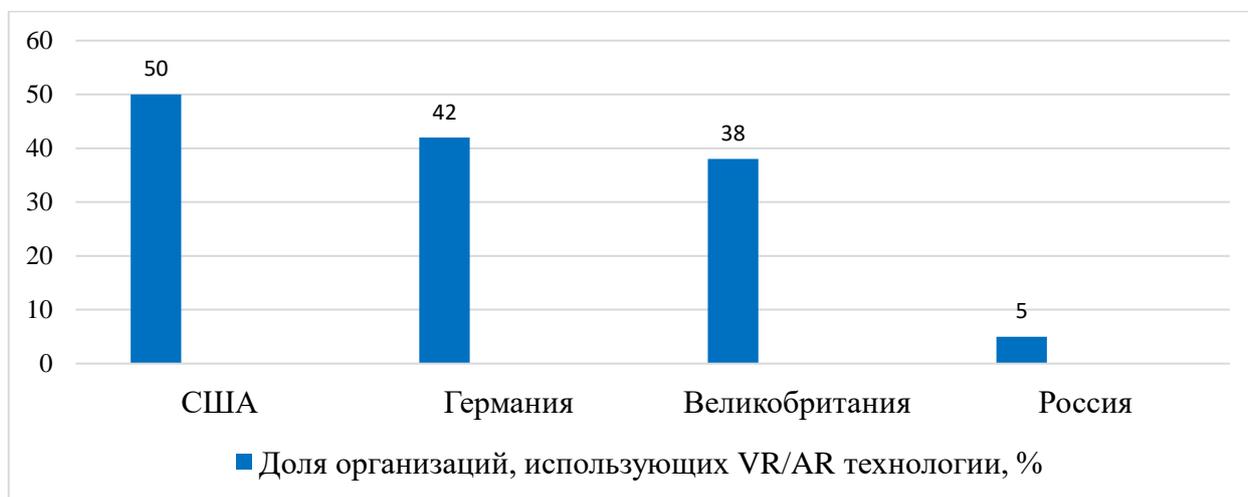


Рисунок 3 – Уровень внедрения VR/AR в строительстве

Источник: составлен авторами

Данные рисунка 2 свидетельствуют, что Россия пока находится на начальных этапах внедрения, но интерес к этим технологиям растёт, особенно в крупных компаниях и в том числе строительных.

Разработанная программа, использованная в нашем исследовании для проведения

эксперимента, представляет собой инструмент виртуальной реальности для поддержки процессов проектирования для строительных и проектных организаций и обеспечивает процесс многопользовательского взаимодействия проектирования объектов или систем (таблица 6).

Таблица 6

**Преимущества многопользовательского взаимодействия
при проектировании в строительстве**

Источник: составлен авторами с использованием [13]

Плюс	Описание
Удалённое согласование	Участники могут находиться в разных городах
Снижение числа исправлений	Обсуждение проводится на ранних этапах
Повышение качества	Все участники видят одинаковую модель
Экономия времени	Не требуется переписка или повторные встречи

Перечисленные преимущества способны трансформировать традиционные подходы к управлению строительными проектами, делая их более прозрачными, быстрыми и ориентированными на клиента. И в тоже время развитие цифровых компетенций для проектирования проходит значительно легче и проще для самих слушателей.

В таблице 7 приведено сравнение основных показателей эффективности до и после внедрения приложения, что демонстрирует конкретные изменения в бизнес-процессах строительной организации, на базе которой проводился эксперимент, в ходе обучения работе в виртуальной среде.

Таблица 7

**Оценка эффективности использования разработанного приложения
по результатам опроса обучаемых**

Источник: составлен авторами

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение (%)
Время согласования проекта, дн.	20	9	↓ 55
Количество исправлений	12	3	↓ 75
Стоимость корректировок, тыс. руб.	780	190	↓ 75.6
Уровень удовлетворённости заказчика (шкала 1–5)	3,2	4,7	↑ 47
Число встреч по проекту	6	2	↓ 67

Полученные данные наглядно подтверждают, что основной эффект от внедрения – снижение времени и рисков ошибок в работе сотрудников, а также повышение качества взаимодействия с заказчиком. Следовательно, внедрение VR-технологий способствует трансформации бизнес-процессов с положительными эффектами для развития и управления персоналом, в том числе экономическим.

Заключение. VR-технологии становятся ключевым элементом цифровой трансформа-

ции корпоративного обучения и формирования конкурентоспособности работников. Исследование подтверждает, что VR-технологии не только повышают эффективность обучения, но и формируют культуру непрерывного развития, что критически важно для организаций в условиях глобальной конкуренции [6, 7]. VR-технологии создают уникальные условия для тренировки компетенций, позволяя участникам практиковаться в безопасной, но реалистичной среде [7, 8]. Результаты проведенного исследова-

ния в виде эксперимента с использованием разработанного приложения по проектированию в строительстве, подтверждают необходимость интеграции VR-технологии в

процессы корпоративного обучения для поддержания высокого уровня квалификации сотрудников в условиях быстрого технологического развития и изменения требований.

Список источников

1. Schwab K. 2016. The Fourth Industrial Revolution. // *World Economic Forum*. – 2016. – С. 172. – URL: https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf (дата обращения: 25.04.2025). – Текст: электронный. (In Eng.).
2. Barney Dalgarno, Mark J. W. Lee. What are the Learning Affordances of 3-D Virtual Environments? // *British Journal of Educational Technology*. – 2010. – Т. 41. – С. 10–32. – DOI:10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x. – Текст: электронный. (In Eng.).
3. Edward L. Deci, Richard M. Ryan. The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior // *Psychological Inquiry. An International Journal for the Advancement of Psychological Theory*. – 2009. – Т. 11 – № 4. – С. 227–268. – DOI: 10.1207/S15327965PLI1104_01. – Текст: электронный. (In Eng.).
4. Keller J. M., Suzuki K. Learner Motivation and E-learning Design: a Multinationally Validated Process // *Journal of Educational Media*. – 2004. – Т. 29. – № 3. – С. 229–239. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/237718864> (дата обращения: 25.04.2025). – Текст: электронный. (In Eng.).
5. Pantelidis V. S. Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality // *Themes in Science and Technology Education*. – 2010. – № 2. – С. 59–70. (In Eng.).
6. Herrera, F., Bailenson, J. N., Weisz, E., Ogle, E., & Zaki, J. Building Long-Term Empathy: A Large-scale Comparison of Traditional and Virtual Reality Perspective-Taking // *PLOS ONE*. – 2018. – Т. 13 (10). – DOI: 10.1371/journal.pone.0204494. – Текст: электронный. (In Eng.).
7. Махлина С. Т. Иммерсивность в современной культуре // *Вестник СПбГИК*. – 2022. – № 3 (52). – С.67–79. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/immersivnost-v-sovremennoy-kulture> (дата обращения: 25.04.2025). – Текст: электронный.
8. Павлова Е. Б., Лебедева И. С. Определение интерактивности: создание интерактивных моделей обучения // *Вестник Московского государственного лингвистического университета. Образование и педагогические науки*. – 2019. – № 4 (833). – С.136-145. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-interaktivnosti-sozdanie-interaktivnyh-modeley-obucheniya> (дата обращения: 25.04.2025). – Текст: электронный.

References

1. Schwab K. 2016. The Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*. 2016. P. 172. Available at: https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf (accessed 25.04.2025)
2. Barney Dalgarno, Mark J. W. Lee. What are the Learning Affordances of 3-D Virtual Environments? *British Journal of Educational Technology*. 2010. Vol. 41. pp. 10–32. DOI:10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x
3. Edward L. Deci, Richard M. Ryan. The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry. An International Journal for the Advancement of Psychological Theory*. 2009. Vol. 11. – No. 4. – pp. 227–268. DOI: 10.1207/S15327965PLI1104_01.
4. Keller J. M., Suzuki K. Learner Motivation and E-learning Design: a Multinationally Validated Process. *Journal of Educational Media*. 2004. Vol. 29. No. 3. pp. 229–239. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/237718864> (accessed 25.04.2025).
5. Pantelidis V. S. Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality. *Themes in Science and Technology Education*. 2010. No. 2. pp. 59–70.
6. Herrera, F., Bailenson, J. N., Weisz, E., Ogle, E., & Zaki, J. Building Long-Term Empathy: A Large-scale Comparison of Traditional and Virtual Reality Perspective-Taking. *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13 (10). DOI: 10.1371/journal.pone.0204494.
7. Makhlina S. T. Immersiveness in Modern Culture. *Vestnik SPbGIK*. 2022. No. 3 (52). pp.67–79. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/immersivnost-v-sovremennoy-kulture> (accessed 25.04.2025). (In Russ.).
8. Pavlova E. B., Lebedeva I. S. Definition of Interactivity: Creation of Interactive Learning Models. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta. Obrazovaniye i pedagogicheskiye nauki*. 2019. No. 4 (833). pp. 136–145. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-interaktivnosti-sozdanie-interaktivnyh-modeley-obucheniya> (accessed 25.04.2025) (In Russ.).

9. Бредихин А. А., Михолажина Ю. К., Гунаев П. С. Программа для многопользовательского визуального проектирования в виртуальной реальности // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2024 г. – М.: Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технологии развития», 2024. – С. 93–95 – URL: <https://cloud.mail.ru/public/zFKj/Zu5xeKRLb> (дата обращения: 25.04.2025). – Текст: электронный.
10. Суслов В. И., Ибрагимов Н. М., Талышева Л. П., Цыплаков А. А. Эконометрия. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2005. – 742 с.
11. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
12. Макэффри М. Unreal Engine VR для разработчиков. – М.: Изд-во «Бомбора», 2019. – 244 с.
13. Годовой отчет за 2023 год // ВЭБ/РФ. Интернет-портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://xn--90ab5f.xn--p1ai/investoram/otchetnost/godovoj-otchet-2023/> (дата обращения: 12.06.2025). – Текст: электронный.
14. Национальное объединение строителей. Отраслевой доклад о состоянии цифровизации в строительстве. – М.: НОСТРОЙ, 2023. – 88 с.
15. McKinsey & Company публикует отчет ESG за 2022 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://esgnews.com/ru> (дата обращения: 09.06.2025). – Текст: электронный.
16. Программа для многопользовательского визуального проектирования в виртуальной реальности [Электронный ресурс]. – URL: http://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2023688003&TypeFile=html (дата обращения 10.01.2025). – Текст: электронный.
9. Bredikhin A. A., Mikholazhina Yu. K., Gunaev P. S. Program for Multi-User Visual Design in Virtual Reality. Collection of Works of Laureates of The International Competition of Scientific, Scientific-Technical and Innovative Developments Aimed at the Development and Exploration of the Arctic and the Continental Shelf 2024. M.: Ministry of Energy of the Russian Federation, ООО "Development Technologies", 2024. pp. 93–95. (In Russ.).
10. Suslov V. I., Ibragimov N. M., Talysheva L. P., Tsyplakov A. A. Econometry. *Novosibirsk: NSU Publishing House*, 2005. 742 p. (In Russ.).
11. Gmurman V. E. Probability Theory and Mathematical Statistics: Textbook for Universities. 9th ed., reprinted. *Moscow: Vysshaya shkola*, 2003. 479 p. (In Russ.).
12. McAffrey M. Unreal Engine VR for Developers. *M.: Bombora Publishing House*, 2019. 244 p. (In Russ.).
13. Annual Report for 2023. VEB/RF. Internet portal. URL: <https://xn--90ab5f.xn--p1ai/investoram/otchetnost/godovoj-otchet-2023/> (accessed 12.06.2025). (In Russ.).
14. National Association of Builders. Industry Report on the State of Digitalization in Construction. *Moscow: NOSTROY*, 2023. 88 p. 9In Russ.).
15. McKinsey & Company Publishes 2022 ESG Report. URL: <https://esgnews.com/ru> (accessed 09.06.2025). (In Russ.).
16. Program for Multi-User Visual Design in Virtual Reality. URL: http://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2023688003&TypeFile=html (accessed 10.01.2025).

Научная статья
УДК 338.242 / ББК 65.050
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-27-40

РЕЗИЛИЕНТНОСТЬ РЕГИОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ В УСЛОВИЯХ НАРАСТАНИЯ СОЧЕТАННЫХ ШОКОВ

Наталья Николаевна Шестакова^{1✉}, Михаил Георгиевич Джанелидзе²

^{1,2}Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург, Россия

¹nnshestakova@gmail.com✉, <https://orcid.org/0000-0003-1102-4705>

²ipre-dj@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6229-1470>

Язык статьи – русский

Аннотация: Исследование посвящено выработке подходов к анализу устойчивости регионального развития в условиях внешних шоков. Цель исследования – измерение реакции регионов СЗФО на множественные и накладывающиеся друг на друга (сочетанные) шоки с использованием экономико-статистических методов. В статье анализируется генез и содержание термина «резилиентность» как экономической категории. Приведены авторские определения резилиентности и сочетанного шока. Первое понимается как реакция экономической системы на шоковые воздействия и способность этой системы сохранять в том или ином виде свою устойчивость. Второе – как экономический кризис, осложненный накопившимися структурными, управленческими и социальными проблемами. Представлена оригинальная периодизация шоковых воздействий на экономику Российской Федерации. На основе авторской периодизации проведен анализ уровня резилиентности регионов СЗФО посредством расчета индексов сопротивления рецессии и восстановления экономики после рецессии, соответствующих двум фазам шокового воздействия на базе показателей занятости населения: непосредственно шока, или фазе «сопротивления», характеризующейся снижением социально-экономических показателей, и фазе «восстановления», характеризующейся возвратом к показателям дошокового периода. Реализованные авторами вычисления свидетельствуют об эффективности и работоспособности методики и перспективности ее использования, в частности, для измерения и оценки ситуации сочетанных экономических шоков. Представляемая методика оценки уровня сопротивления рецессии является достаточно действенным инструментом и может с высокой степенью целесообразности быть применена для межрегиональных сопоставлений, а также динамических сравнений

Ключевые слова: глобальный индекс резилиентности, индекс восстановления экономики после рецессии, индекс сопротивления рецессии, периодизация шоковых воздействий на экономику Российской Федерации, регионы Северо-Западного федерального округа, резилиентность, шокоустойчивость

Ссылка для цитирования: Шестакова Н. Н., Джанелидзе М. Г. Резилиентность регионов северо-запада России в условиях нарастания сочетанных шоков // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 27–40. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-27-40>.

THE RESILIENCE OF THE RUSSIAN NORTHWEST REGIONS IN THE CONTEXT OF INCREASING COMBINED SHOCKS

Natalia N. Shestakova^{1✉}, Mikhail G. Djanelidze²

^{1,2}Institute for Regional Economy Studies of the Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia

¹nnshestakova@gmail.com✉, <https://orcid.org/0000-0003-1102-4705>

²ipre-dj@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6229-1470>

Article in Russian

Abstract: This study is devoted to developing approaches to analyzing the resilience of regional development under the influence of external shocks. The objective of the study is to measure the response of Northwestern Federal District regions to multiple and overlapping (combined) shocks using economic and statistical methods. The article analyzes the origins and content of the term «resilience» as an economic category. The author's definitions of resilience and combined shock are presented. The former is understood as the response of an economic system to shocks and the ability of this system to maintain some form of stability. The latter is defined as an economic crisis complicated by accumulated structural, managerial, and social problems. An original periodization of shock impacts on the Russian economy is presented. Based on the authors' periodization, an analysis of the resilience level of the Northwestern Federal District regions was

conducted by calculating indices of recession resistance and post-recession economic recovery, corresponding to two phases of the shock impact based on employment indicators: the shock itself, or «resistance» phase, characterized by a decline in socioeconomic indicators, and the «recovery» phase, characterized by a return to pre-shock indicators. The authors' calculations demonstrate the effectiveness and feasibility of this methodology and the potential for its use, in particular, for measuring and assessing the impact of combined economic shocks. The presented technique is a fairly effective tool and can be effectively applied to interregional comparisons, or to assess the dynamics of a particular region's development

Keywords: economic recovery index after the recession, global resilience index, periodization of shock impacts on the economy of the Russian Federation, recession resistance index, regions of the North-Western Federal District, resilience, shock resistance

For citation: Shestakova N. N., Djanelidze M. G. The Resilience of the Russian Northwest Regions in The Context of Increasing Combined Shocks. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 27–40. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-27-40>.

Введение. При анализе шоковых воздействий на экономические системы в актуальной профильной литературе рассматривается уровень сопротивляемости экономических систем к таким воздействиям. Одним из понятий, характеризующих этот феномен, является резилиентность.

Это относительно новое понятие, введенное в экономическую науку в связи с возросшей неопределенностью и волатильностью развития общества, легло в основу концепции резилиентности, которая становится все более влиятельной исследовательской парадигмой.

Во многом причиной этого стали процессы глобализации, приведшие к усилению турбулентности внешней среды как на уровне национальных, так и региональных экономик: в отличие от экономических кризисов, носящих циклический характер и порождаемых внутренними структурными причинами, экономические шоки вызываются растущей нестабильностью условий, в которых функционируют эти экономики.

Цель и задачи исследования состоят в развитии практически полезной методики анализа и мониторинга резилиентности, позволяющего оценивать и сопоставлять уровни устойчивости отдельных регионов.

В соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи.

1) Обосновать и представить теоретические и методологические основания применения концепции резилиентности в изучении устойчивости региональной экономики.

2) Рассмотреть процессы формирования концепции резилиентности как исследовательской парадигмы.

3) Проанализировать понятийный аппарат.

4) На основе проведенных исследований уточнить понятие резилиентности.

5) Предложить периодизацию шоковых воздействий на экономику Российской Федерации.

6) На основе предложенной периодизации апробировать методику оценки региональной резилиентности.

Литературный обзор. Теоретико-методологические подходы к оценке региональной резилиентности не являются устоявшимися. По мере увеличения интереса количества работ, посвященных проблемам экономической устойчивости, представление о содержании термина у части исследователей менялось. Так, например, в статьях В. В. Климанова с соавторами понятие региональной резилиентности рассматривалось как синонимичное устойчивости [1, 2]. Но в дальнейшем в его докладе «Региональная резилиентность в рамках стратегического планирования» [3] было проведено разделение понятий: устойчивость рассматривалась как долгосрочное равновесие между использованием ресурсов и развитием (устойчивое развитие = сбалансированное развитие), а резилиентность трактовалась в качестве способности противостоять шокам и адаптироваться к изменениям, трансформируя внутреннюю структуру.

Понимание резилиентности как шокоустойчивости присуще и ряду других исследований.

Интересный и практически полезный терминологический анализ соотношения понятий «устойчивость», «резилиентность», «шокоустойчивость», «жизнестойкость» и др.

проведён в статье Б. С. Жихаревича, В. В. Климанова и В. Г. Марача [4]. Авторы приходят к выводу, что наиболее удачным является термин «шокоустойчивость», поскольку резилентность не очень благозвучна для русского языка, а «устойчивость» генеалогически связана с определениями устойчивого развития («sustainable development») и, тем самым, вызывает неверные терминологические ассоциации. При этом понятия шокоустойчивости и резилентности рассматриваются как синонимические.

К схожим выводам приходит и В. В. Акбердина, утверждая: «Анализ теоретических подходов позволяет нам утверждать, что резилентность экономики принципиально отличается от понятия устойчивости экономики» [5, С. 14].

Как видно из вышеизложенного, в профильной литературе представлены существенно отличающиеся определения как самой резилентности, так и различные трактовки выбора индикаторов и показателей, её измеряющих.

В экономической науке этому феномену соответствуют, как минимум, две категории: «(шоко-)устойчивость» (например, Б. С. Жихаревич и А. А. Песоцкий [4, 5] и резилентность (или в другом написании «резильентность»). Не углубляясь в разбор нюансов сходства/различия этих категорий, остановимся на второй из них.

Категория «резилентность» («экономическая резилентность») базируется на теории сложности и имеет множество определений. Например, определения, предложенные Р. Мартином: «экономическая резилентность территорий определяется как способность системы поглотить шок, прежде чем она перейдет в новое равновесное состояние» [6, С. 6]; В. В. Акбердиной: «экономическая резилентность – это способность экономики полностью восстанавливаться после воздействия шоков различной природы за счет внутренних адаптивных свойств» [7, С. 10]; Н. В. Смородиной и Д. Д. Катукочевым: «отражение способности любой системы, которой удается выживать, к восстановлению после шоков и адаптации к изменившейся среде» [8, С. 100]; С. Ю. Высоким: «совокупная способность экономики противостоять шоковым потрясениям и восстанавливаться в

кратчайшие сроки» [9, С. 30] или «под экономической резилентностью территорий предлагается понимать показатель устойчивости к шокам (рискам) различной природы, характеризующий степень опережения (отставания) в развитии территорий в сравнительной характеристике с развитием территории эталона по системе показателей оценки ключевых факторов резилентности» [10, С. 7] и целый ряд других.

Авторы предлагают рассматривать экономическую резилентность как реакцию экономической системы на шоковые воздействия и способность этой системы сохранять в том или ином виде свою устойчивость. Под сочетанным шоком понимается экономический кризис, осложненный накопившимися структурными, управленческими и социальными проблемами [11].

Разработка Глобального индекса резилентности (спроектирован аналитиками американской компании взаимного страхования FM), рассчитываемого в том числе и в страновом разрезе, а также рассуждения Р. Мартина [6, 12], Н. В. Смородиной [13] и С. Ю. Высоким [9, 10] позволяют уверенно говорить о правомерности сравнительной региональной резилентности.

Методы и материалы исследования. Измерить уровень резилентности экономических систем предлагается посредством двух индексов: индекс сопротивления рецессии и индекс восстановления экономики после рецессии, соответствующих двум фазам шокового воздействия: фазе непосредственно шока, или фазе «сопротивления», характеризующуюся снижением социально-экономических показателей, и второй фазе – фазе «восстановления», характеризующуюся возвратом к дошоковым показателям.

Методика этой оценки была разработана Р. Мартином [6], ее математико-статистическая формализация, основывающаяся на изменениях в показателях занятости, предложена Р. Лагравинезе [14].

Индекс степени сопротивления региона экономическим шокам/рецессии выглядит следующим образом:

$$\beta_{res} = [(\Delta E_T/E_T) - (\Delta E_N/E_N)] / |\Delta E_N/E_N| \quad (1)$$

где β_{res} – индекс сопротивления рецессии; $(\Delta E_T/E_T)$ и $(\Delta E_N/E_N)$ – прирост занятости

на региональном и макрорегиональном уровнях соответственно.

При этом большее отклонение индекса от нуля в сторону положительных значений свидетельствует о более высокой устойчивости *i*-го региона к экономическим шокам относительно народнохозяйственного комплекса страны в целом. Верно и обратное утверждение.

Индекс восстановления экономики, характеризующийся скоростью и степенью выхода экономики территории из рецессии, выглядит следующим образом:

$$\beta_{\text{rec}} = (\Delta E_t / E_t) / (\Delta E_N / E_N) \quad (2)$$

где β_{rec} – индекс восстановления экономики после рецессии.

При этом превышение индекса восстановления уровня «1» указывает на более высокий темп экономического восстановления *i*-го региона относительно народнохозяйственного комплекса страны в целом.

Обратим внимание: Р. Мартин в своих работах при анализе резилиентности территорий использует два ключевых экономических показателя: ВВП и уровень занятости [6].

Попытки применить описанную методику были предприняты и на постсоветском пространстве. Так, оценка резилиентности на основании анализа ВВП и ВРП была апробирована применительно к регионам Республики Беларусь С. Ю. Высоцким [9], а на основании характеристик занятости населения – на примере трех уральских регионов России – М. Ю. Яковиной, А. А. Кораблевой [15].

Авторы реализовали методику на базе совокупности регионов, входящих в состав СЗФО (на базе показателей занятости населения). Выбор подхода к оценке резилиентности регионов с позиции показателей занятости обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, поскольку основными факторами экономического развития теории выступают инвестиции и труд, то уровень вовлеченности трудовых ресурсов региона является одним из двух важнейших показателей резилиентности экономики региона. Во-вторых, уровень занятости в регионе важен не только с точки зрения характеристики состояния его экономики, но и с позиций снижения социального

напряжения и повышения качества жизни населения, т.е. еще одного параметра региональной устойчивости. Однако прежде, чем перейти к непосредственным расчетам, необходимо остановиться на периодизации шоковых воздействий на национальную экономику.

Один из вариантов подобной периодизации был, в частности, предложен проф. В. В. Акбердиной. Согласно ее позиции, выделялись три шока, действовавших на экономику России за период 2000–2020 гг.: мировой финансовый кризис (2008); международные санкции (2015–2020) и пандемия COVID-19 (2020) [7].

Л. М. Григорьев классифицирует шоки 2020–2023 гг. несколько иным образом, руководствуясь поставленными им в собственном исследовании целями [16].

Однако приведенный перечень шоков не является исчерпывающим. Реперной точкой отсчета современного состояния должен служить такой ключевой этап развития нашего государства, как перестройка (1985–1991), которая стала стартовым моментом не только для радикальных политических, но и социально-экономических трансформаций: страна перешла к полноценному встраиванию в мировую экономическую систему.

Помимо поименованных В. В. Акбердиной шоков [7], с течением времени общество и экономика подверглись еще одному шоковому воздействию, получившему название специальной военной операции (СВО), продолжающейся до настоящего момента и сопровождающейся многочисленными международными санкциями.

Таким образом, можно утверждать, что национальная экономика с 1985 года функционирует в состоянии практически непрерывного шокового воздействия, не успевая в достаточной степени восстанавливаться, т.е. находясь в режиме, который авторы определяют как набор сочетанных или последовательно накладывающихся друг на друга, нарастающих (экономических) шоков. Не следует также забывать и о череде мировых кризисов этого периода, которые так или иначе затронули российскую экономику.

С учетом вышеизложенного, периодизация ключевых шоковых воздействий на на-

циональную экономику должна выглядеть следующим образом:

- трансформация экономической системы (1985–1991);
- валютный кризис в России (2014–2015);
- международные санкции (2015–2020);
- пандемия COVID-19 (2020–май 2023);
- специальная военная операция, непрерывно дополняемая международными санкциями (2022 – настоящее время).

Обратим внимание, что на момент написания статьи последним годом, на который была доступна официальная статистика, был 2022. При этом следует понимать, что 2022 год не является фиксированным моментом завершения шоков и, соответственно, расчеты, опирающиеся на данные 2022 года, могут рассматриваться как сугубо промежуточные.

Результаты исследования. Исходные данные для расчета индексов сопротивления рецессии приведены в таблице 1.

Таблица 1

Динамика среднегодовой численности занятых в СЗФО за период 2014-2022 годов

Источник: составлена авторами на основе [18–22]

Среднегодовая численность занятых ¹ , тыс. человек	1985	1991	2014	2015	2020	2021	2022
РФ	74937	73847,8	67813	68389	69550,3	70818	71216,9
СЗФО	7842,5	7496,5	6750,2	6702,4	6954,2	7047,9	7138,5
Республика Карелия	413,6	407,3	296,8	289,6	260,1	264,9	264,9
Республика Коми	664,3	649,7	433,7	425,3	383,2	377,3	368,9
Архангельская обл.	767,7	749,5	594,3	589,1	497,7	509,1	510,8
Архангельская область (без АО)	н/д	н/д	561,0	555,9	466,5	479,1	479,5
Ненецкий АО	н/д	н/д	33,3	33,2	31,2	30,0	31,4
Вологодская область	703,2	652,5	571,8	571,9	517,6	515,1	517,7
Калининградская область	431,3	421,7	477,8	473,9	472,8	489,7	506,7
Ленинградская область	746,4	734,3	747,0	743,2	782,6	800,7	871,1
Мурманская область	533,0	558,8	408,6	397,8	348,3	356,5	340,9
Новгородская область	392,5	384,4	306,4	303,4	258,8	264,5	268,1
Псковская область	447,0	411,3	320,9	318,3	272,0	274,5	275,9
Санкт-Петербург	2743,5	2527,0	2593,1	2589,9	3161,1	3195,6	3213,6

¹Данные рассчитаны в соответствии с актуализированной методикой расчета баланса трудовых ресурсов и оценки затрат труда.

Результаты расчетов авторов по пяти выделенным в интервале 1985–2022 гг. периодам времени/волнам шоков приведены в таблице 2.

Таблица 2

Индекс сопротивления рецессии регионов СЗФО в условиях нарастания сочетанных шоков период 2014-2022 годов

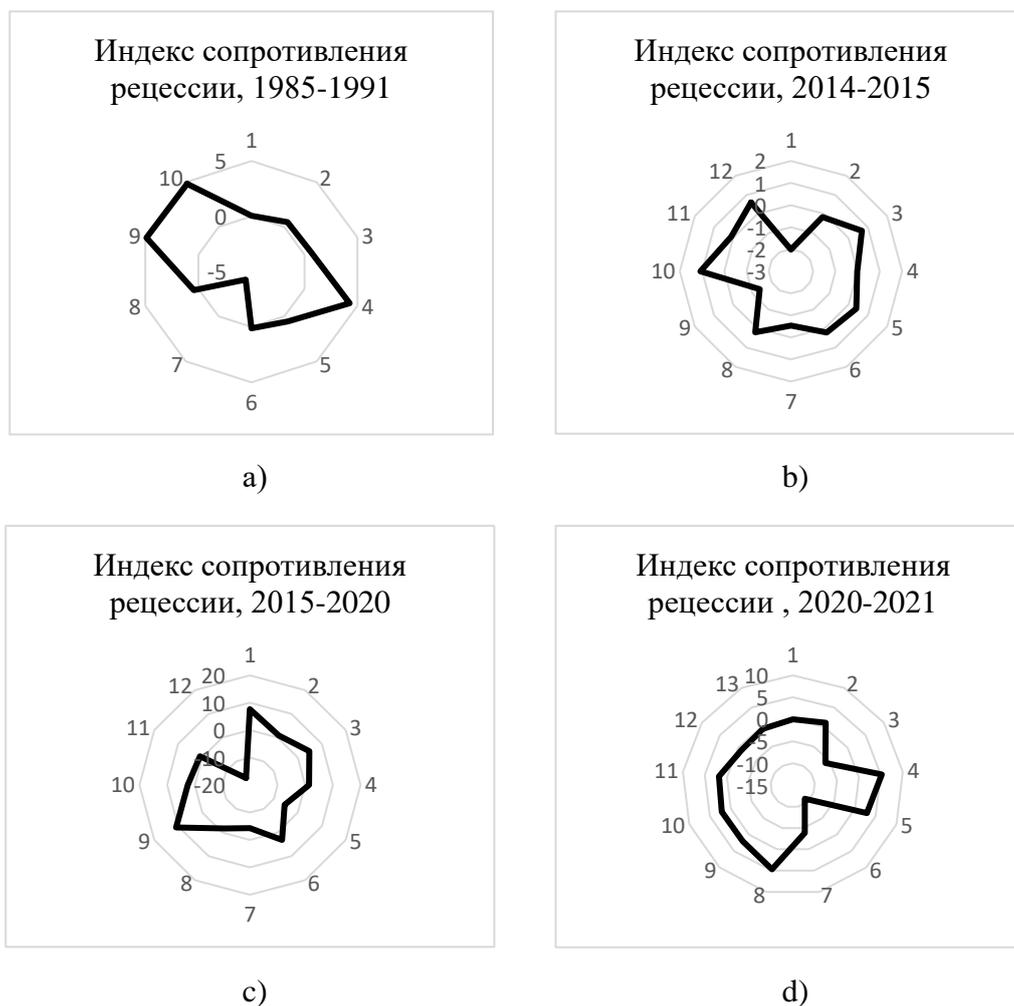
Источник: составлена авторами

Субъекты, входящие в состав СЗФО	1985–1991	2014–2015	2015–2020	2020–2021	2020–2022
Республика Карелия	0,049	- 2,021	7,669	1,048	0,106
Республика Коми	0,524	- 0,156	0,818	- 6,074	- 0,230
Архангельская обл.	0,646	0,685	4,781	5,223	- 2,557

Продолжение таблицы 2

Субъекты, входящие в состав СЗФО	1985–1991	2014–2015	2015–2020	2020–2021	2020–2022
Архангельская область (без АО)	н/д	- 0,022	1,410	2,848	0,098
Ненецкий АО	н/д	0,393	- 5,537	-10,926	0,163
Вологодская область	4,268	0,205	3,091	- 3,851	- 0,732
Калининградская область	0,543	- 0,538	- 4,258	4,685	- 0,992
Ленинградская область	0,117	0,198	- 1,700	2,031	1,992
Мурманская область	- 4,130	- 1,377	10,864	2,118	3,719
Новгородская область	0,429	1,073	2,549	1,799	- 1,887
Псковская область	4,885	0,109	0,892	- 0,901	0,500
Санкт-Петербург	0,049	0,602	-16,986	- 0,539	- 0,402

Представляется, что полученные статистические выкладки более наглядным образом могут быть представлены в виде диаграмм (рисунок 1).





е)

Рисунок 1 (а, b, с, d, е) – Изменение индекса сопротивления рецессии регионов СЗФО в период нарастания шоков 1985–2022 гг.

Обозначения: в период 1985–1991 гг. статистический учет велся без деления Архангельской области:

1 - Республика Карелия, 2 - Республика Коми, 3 - Архангельская обл., 4 - Вологодская область, 5 - Калининградская область, 6 - Ленинградская область, 7 - Мурманская область, 8 - Новгородская область, 9 - Псковская область, 10 - Санкт-Петербург

С 2014 г.: 1 - Республика Карелия, 2 - Республика Коми, 3 - Архангельская обл., 4 - Архангельская область без Ненецкого АО, 5 - Ненецкий АО, 6 - Вологодская область, 7 - Калининградская область, 8 - Ленинградская область, 9 - Мурманская область, 10 - Новгородская область, 11 - Псковская область, 12 - Санкт-Петербург

Комментируя полученные результаты, отметим, что в выбранном для анализа периоде четко прослеживаются волнообразные возмущения экономической ситуации, фиксируемые соответствующими изменениями конфигурации распределения на диаграммах (рисунки 1а–1е):

Наиболее драматичная ситуация сложилась в период 2015–2020 годов, когда разброс минимальных и максимальных значений индекса был наибольшим: от -16,99 в Санкт-Петербурге до 10,86 в Мурманской области. Соответственно, в новейшей (постперестроечной) России точка отсчета индекса сопротивления рецессии опустилась в этот момент на минимальный уровень в отрицательной части шкалы (отражено на рисунке 1с).

Первоначальное проседание занятости, приведенное к сопоставимому виду через индекс сопротивления рецессии по отдельным регионам, особенно выражено в Мурманской области (1985–1991 гг.) и Республике Карелия в 2014–2015 гг. (отражено на рисунках 1а и 1b).

После достижения минимума предшествующего периода амплитуда индексов рецессии регионов СЗФО стала постепенно

суживаться и подниматься. Так, в период 2020–2021 гг. зафиксировано уже несколько меньшее его проседание: самый низкий уровень индекса пришёлся на Ненецкий АО (-10,92). Размах колебаний также стал сокращаться: наивысший уровень индекса (5,22) отмечался в Архангельской области (отражено на рисунке 1d).

Далее (период 2020–2022) ситуация стала несколько более стабильной: диапазон колебаний сжался от -2,5 в Архангельской области до 3,71 в Мурманской области (отражено на рисунке 1е). Обратим внимание, что даже в смежных временных промежутках 2020–2021 и 2020–2022 гг. индекс рецессии был подвержен изменениям (рисунки 1d и 1е).

Полученные результаты указывают, что наиболее подверженным шоковым воздействиям регионом оказалась Мурманская область, получившая в начальном периоде (1985–1991 гг.) минимальное расчетное значение индекса сопротивления рецессии, а в наиболее остром шоковом периоде 2015–2020 гг., наоборот, наивысшее его значение. Также значительно пострадал от шоков Санкт-Петербург, индекс рецессии для которого оказался в том же периоде 2015–2020 гг. самым низким среди всех регионов СЗФО за

весь рассматриваемый период с 1985 по 2023 годы.

Следует констатировать, что полученные авторами результаты вполне логично соотносятся с четко выраженным прозрачным экономическим содержанием. Так, понижение индекса сопротивления рецессии в периоде 2014–2020 гг. определенно коррелирует с последовательным нарастанием санкционных ограничений в отношении Российской Федерации. Факт улучшения/повышения индекса сопротивления рецессии и трансформация его конфигурации (рисунки 1с и 1d) в периоде

2020–2022 гг. вполне очевидно связывается с постепенным ослаблением коронавирусных ограничений и, впоследствии, движением рабочей силы, возникшим в результате развертывания СВО.

Отметим, что все рассмотренные периоды характеризуются изменениями процессов занятости населения.

Обратимся к вычислению второго показателя – индекса восстановления экономики после рецессии, выстроив его на основе обобщенной выше периодизации. Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3

Динамика среднегодовой численности занятых в СЗФО за период 1992–2023 годов

Источник: составлена авторами на основе [23–27]

Среднегодовая численность занятых, тыс. человек	1992	1997	1999	2007	2012	2013	2022	2023
РФ	72071	64574	64114	67922	72198	72176	71216,9	72911,8
СЗФО	7300,5	6485,2	6540,2	6854,2	6774,2	6768,0	7138,5	7221,2
Республика Карелия	402,3	335,0	331,5	353,7	306,7	300,7	264,9	235,1
Республика Коми	625,1	522,6	495,3	476,1	456,3	445,0	368,9	335,6
Архангельская область	750,0	573,0	587,8	621,4	603,8	599,3	510,8	460,5
Архангельская область (без АО)	н/д	н/д	н/д	н/д	571,1	565,9	479,5	429,8
Ненецкий АО	н/д	22,1	20,7	32,6	32,7	33,3	31,4	30,7
Вологодская область	646,0	582,1	571,9	613,7	582,3	576,3	517,7	503,2
Калининградская область	421,1	410,7	401,1	475,9	476,7	476,5	506,7	519,3
Ленинградская область	727,9	674,0	695,9	748,7	749,2	750,7	871,1	901,5
Мурманская область	568,1	431,4	422,5	444,0	423,5	418,8	340,9	313,2
Новгородская область	374,2	308,6	312,3	313,6	313,9	309,7	268,1	273,8
Псковская область	399,2	304,0	341,5	333,9	331,4	325,9	275,9	285,2
Санкт-Петербург	2386,6	2343,7	2353,9	2473,4	2530,4	2565,3	3213,6	3393,9

Результаты расчетов авторов по четырем выделенным периодам восстановления экономики представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Индекс восстановления экономики регионов СЗФО после рецессии
в период 1992-2013 годов**

Источник: составлено авторами

Субъекты, входящие в состав СЗФО	1992–1997	1999–2007	2012–2013	2022–2023
Республика Карелия	1,498	1,395	21,375	-9,710
Республика Коми	1,468	-0,807	27,058	-7,792
Архангельская обл.	2,113	1,191	8,143	-8,500
Архангельская область (без АО)	н/д	н/д	9,948	-8,947
Ненецкий АО	н/д	11,974	-20,048	-1,924
Вологодская область	0,591	1,522	11,258	-2,418
Калининградская область	0,221	3,884	0,458	2,146
Ленинградская область	0,663	1,580	-2,188	3,012
Мурманская область	2,155	1,060	12,126	-7,014
Новгородская область	1,570	0,087	14,619	1,835
Псковская область	2,135	-0,464	18,133	2,910
Санкт-Петербург	0,161	1,057	-15,070	4,843

Графически распределение индекса по регионам СЗФО показано на рисунке 2 (а, б, с, d).



а)



б)

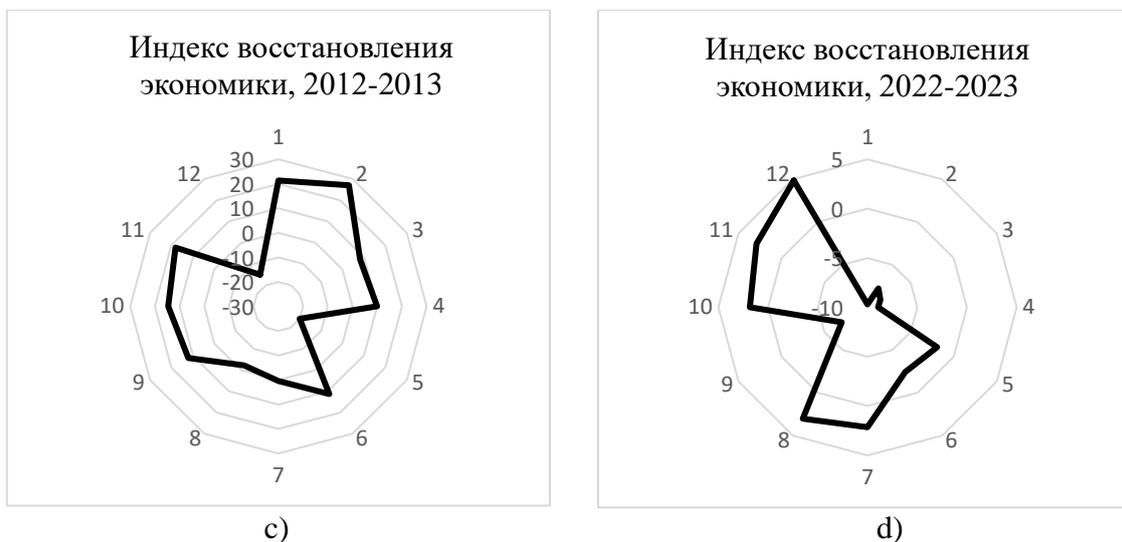


Рисунок 2 (а, b, с, d) – Изменение индекса восстановления экономики регионов СЗФО в период 1992–2023 годов

Обозначения: Рисунок 2а: 1 - Республика Карелия, 2 - Республика Коми, 3 - Архангельская обл., 4 - Вологодская область, 5 - Калининградская область, 6 - Ленинградская область, 7 - Мурманская область, 8 - Новгородская область, 9 - Псковская область, 10 - Санкт-Петербург.
 Рисунок 2б: 1 - Республика Карелия, 2 - Республика Коми, 3 - Архангельская обл., 4 - Ненецкий АО, 5 - Вологодская область, 6 - Калининградская область, 7 - Ленинградская область, 8 - Мурманская область, 9 - Новгородская область, 10 - Псковская область, 11 - Санкт-Петербург.
 Рисунок 2с и 2д: 1 - Республика Карелия, 2 - Республика Коми, 3 - Архангельская обл., 4 - Архангельская область без Ненецкого АО, 5 - Ненецкий АО, 6 - Вологодская область, 7 - Калининградская область, 8 - Ленинградская область, 9 - Мурманская область, 10 - Новгородская область, 11 - Псковская область, 12 - Санкт-Петербург

Комментируя полученные методом построения индекса восстановления экономики результаты, отметим несколько моментов.

1) Важно, что в 1999–2007 гг. шкала отсчета находилась выше нулевой отметки, несмотря на все сложности периода трансформации, в числе которых было и стремительное сокращение официальной занятости и ее перетекания в теньевую (рисунок 2а). Наилучшие значения индекса восстановления экономики с точки зрения среднегодовой численности занятых показали Архангельская, Мурманская и Псковская области. Минимальный уровень увеличения/восстановления занятости, а, следовательно, соответствующего индекса был зафиксирован в Санкт-Петербурге.

2) В периоде 1992–1997 гг. индекс восстановления экономики также продемонстрировал положительные значения практически во всех регионах СЗФО. Исключением стали лишь Республика Коми и Псковская область (рисунок 2б). Наилучших результатов в восстановлении занятости достигла Вологодская область. Хотя сама картина восстановления не может быть оценена как оптимистичная.

3) Реальные процессы восстановления, предшествующие, самому глубокому воздействию 2015–2020 гг., демонстрирует рисунок 2с, описывающий период 2012–2013 годов. В то же время рисунок иллюстрирует и крайнюю неравномерность восстановления экономики в различных субъектах северо-запада России. Так, наряду с исключительно высокими результатами Республик Коми и Карелии, а также Псковской области, следует констатировать чрезвычайно низкие уровни индекса в Ненецком АО, и Санкт-Петербурге. Разброс индекса составил почти 50 пунктов: от -20,05 (Ненецкий АО) до 27,06 (Республика Коми). Обратим внимание, что точка отсчета при построении диаграммы располагалась на шкале гораздо ниже нулевого уровня.

4) Основываясь на официальных оценках по поводу преодоления шоков, связанных с проведением СВО, и роста национальной экономики, начиная с 2023 года, можно выделить и провести расчеты для четвертого (в известном смысле промежуточного) интервала, характеризующего процессы восстановления национальной экономики. При этом безуслов-

вно положительным можно признать факт существенного перемещения точки отсчета в направлении положительных значений. Тенденции изменения занятости в регионах, входящих в состав СЗФО, характеризуются исключительной разнонаправленностью. Так, наряду с низким уровнем индекса восстановления экономики, рассчитанного на базе среднегодовой численности занятых, в Республике Коми, Архангельской и Новгородской областях в период 2022–2023 гг., его рост отмечен в Мурманской области и Санкт-Петербурге.

Этап наиболее активного восстановления экономики СЗФО пришелся на период 1998–2007 гг. К этому моменту индексы практически всех регионов вышли в положительный спектр шкалы. Это лишний раз подтверждает успешный рост российской экономики в первое десятилетие XXI века.

Выводы. Теоретической основой проведенного исследования является относительно новый в экономической теории подход к оценке экономической устойчивости регионов на базе концепции резилиентности. Анализ понятия резилиентности позволил уточнить значение термина в приложении к уровню региональной экономики в условиях сочетанных шоков.

Также предложена оригинальная периодизация шоковых воздействий на экономику Российской Федерации;

Расчеты резилиентности регионов северо-запада России за период 1985–2022 гг., проведенные авторами на базе обоснованных ими периодов, не только имеют практи-

ческую ценность, но и позволяют подтвердить эффективность использования показателей занятости для оценки состояния экономики регионов.

Так, самыми благополучными регионами северо-запада России можно признать Калининградскую и Новгородскую области: рассчитанный для них индекс восстановления экономики за весь исследуемый период ни разу не пересекал нулевой отметки. Индекс Ленинградской области также преимущественно оставался выше нуля, он опустился в отрицательную зону только в 2012–2013 годах.

В целом можно утверждать, что из всех субъектов федерации, входящих в состав СЗФО, наибольшему шоковому воздействию подверглись Республика Коми, Мурманская и Псковская области.

Реализованные авторами вычисления определенно свидетельствуют об эффективности и работоспособности представленного методического подхода к оценке резилиентности регионов и его перспективности, в частности, для измерения и оценки ситуации сочетанных экономических шоков. Рассчитываемые при этом оценки уровня сопротивления рецессии является действенным инструментом для межрегиональных сопоставлений, а также динамических сравнений.

Выполненные исследования могут лечь в основу разработки методики оперативного мониторинга как способа оценки региональной резилиентности в условиях экономических шоков.

Список источников

1. Климанов В. В., Казакова С. М., Михайлова А. А. Региональная резилиентность: теоретические основы постановки вопроса // *Экономическая политика*. – 2018. – Т. 13. – № 6. – С. 164–187. – DOI: 10.18288/1994-5124-2018-6-164-187. – Текст: электронный.
2. Климанов В. В., Казакова С. М., Михайлова А. А. Ретроспективный анализ устойчивости регионов России как социально-экономических систем // *Вопросы экономики*. – 2019. – № 5. – С. 46–64. – DOI: 10.32609/0042-8736-2019-5-46-64. – Текст: электронный.
3. Климанов В. В. Региональная резилиентность в рамках стратегического планирования. – Презентация доклада 19 мая 2020 г. на сессии

References

1. Klimanov V. V., Kazakova S. M., Mikhailova A. A. Regional Resilience: Theoretical Basics of the Question. *Ekonomicheskaya politika*. 2018. Vol. 13. No. 6. pp. 164–187 DOI: 10.18288/1994-5124-2018-6-164-187. (In Russ.).
2. Klimanov V. V., Kazakova S. M., Mikhailova A. A. Retrospective Analysis of the Resilience of Russian Regions as Socio-Economic Systems. *Voprosy Ekonomiki*. 2019. No. 5. pp.46–64. (In Russ.). DOI: 10.32609/0042-8736-2019-5-46-64.
3. Klimanov V. V. Regional Resilience in the Framework of Strategic Planning. *Presentation of the Report on May 19, 2020 at the Session "Strategizing*

- «Стратегирование до и после 2020 г.». – URL: https://stratplan.ru/UserFiles/Files/Klimanov_May19.pdf (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный.
4. Жихаревич Б. С., Климанов В. В., Марача В. Г. Шокоустойчивость территориальных систем: концепция, измерение, управление // Региональные исследования. – 2020. – № 3 (69). – С. 4–15. – DOI: 10.5922/1994-5280-2020-3-1. – Текст: электронный.
5. Песоцкий А. А. Экономический шок и шокоустойчивость (сопротивляемость): взаимосвязь понятий // Теория и практика общественного развития. – 2021. – № 8. – С. 55–60. – DOI: 10.24158/tpor.2021.8.8. – Текст: электронный.
6. Martin R. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessary Shocks // Journal of Economic Geography. – 2012. – Т. 1. – № 1. С. 1–32. – DOI: 10.1093/jeg/lbr019. – Текст: электронный. (In Eng.).
7. Акбердина В. В. Резильентность экономики: факторы устойчивости к шокам. В сб.: Стратегии развития социальных общностей, институтов и территорий: материалы VII Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. – Т.1. – С.8–15.
8. Смородинская Н. В., Катукоев Д. Д. Резильентность экономических систем в эпоху глобализации и внезапных шоков // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2021. – № 5. – С. 93–115. – DOI: 10.52180/2073-6487_2021_5_93_115. – Текст: электронный.
9. Высоцкий С. Ю. Статистическая оценка экономической резильентности регионов Республики Беларусь // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. – 2021. – № 14. – С. 30–35. – DOI 10.52928/2070-1632-2021-59-14-30-35. – Текст: электронный.
10. Высоцкий С. Ю. Экономическая резильентность территорий: теоретическое обоснование и применение // Финансы и бизнес. – 2022. – Т. 18. – № 2. – С. 3-21.
11. Джанелидзе М. Г., Шестакова Н. Н. Российская экономика в условиях сочетанных шоков: поиск путей выхода / В сб.: Глобальные вызовы и региональное развитие в зеркале социологических измерений // Материалы VII международной научно-практической интернет-конференции. – Вологда, 2022. – С. 314-319.
12. Martin R., Sunley P. On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and Explanation // Journal of Economic Geography. – 2014. – Т. 15. – № 1. – С. 1–42. – DOI: 10.1093/jeg/lbu015. – Текст: электронный. (In Eng.).
- Before and After 2020*". Available at: https://stratplan.ru/UserFiles/Files/Klimanov_May19.pdf. (In Russ.).
4. Zhikharevich B. S., Klimanov V. V., Maracha V. G. Shock Resistance of Territorial Systems: Concept, Measurement, Management. *Regionalniye issledovaniya*. 2020. No. 3 (69). pp. 4–15. (In Russ.). DOI: 10.5922/1994-5280-2020-3-1.
5. Pesotsky A. A. Economic Shock and Shock Resistance (Resilience): Interrelation of the Concepts. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*. 2021. No. 8. pp. 55–60. (In Russ.). DOI: 10.24158/tpor.2021.8.8.
6. Martin R. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessary Shocks. *Journal of Economic Geography*. 2012. Vol. 1. No. 1. pp. 1–32. (In Russ.). DOI: 10.1093/jeg/lbr019.
7. Akberdina V. V. Economic Resilience: Shock Resistance Factors. In: *Strategies for the development of social communities, institutions and Territories: proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference*. Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2021. Vol. 1. pp.8–15. (In Russ.).
8. Smorodinskaya N. V., Katukov D. D. Resilience of Economic Systems in the Age of Globalization and Sudden Shocks. *Vestnik Instituta ekonomiki Rossijskoj akademii nauk*. 2021. No. 5. pp. 93-115. (In Russ.). DOI: 10.52180/2073-6487_2021_5_93_115.
9. Vysotsky S.Y. Statistical Assessment of the Economic Resilience of the Regions of the Republic of Belarus. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D*. 2021. No. 14. pp. 30–35. (In Russ.). DOI 10.52928/2070-1632-2021-59-14-30-35.
10. Vysotsky S.Y. Economic Resistance of Territories: Theoretical Rationale and Application. *Finansy i biznes*. 2022. Vol. 18. No. 2. pp. 3-21. (In Russ.).
11. Djanelidze M. G., Shestakova N. N. The Russian Economy in Conditions of Combined Shocks: Finding Ways out. In: *Global challenges and regional development in the mirror of sociological dimensions. Materials of the VII International scientific and practical Internet conference*. Vologda, 2022. pp. 314-319. (In Russ.).
12. Martin R., Sunley P. On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and Explanation. *Journal of Economic Geography*. 2014. Vol. 15. No. 1. pp. 1–42. DOI:10.1093/jeg/lbu015.

13. Смородинская Н. В. Усложнение организации экономических систем в условиях нелинейного развития // Вестник Института экономики РАН. – 2017. – № 5. – С. 104–115.
14. Lagravinese R. Economic Crisis and Rising Gaps North–South: Evidence from the Italian Regions // *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. – 2015. – № 8. – С. 331–342. – URL: https://www.researchgate.net/publication/271840129_Economic_crisis_and_rising_gaps_North-South_Evidence_from_the_Italian_regions/link/54d72e070cf25013d036bc47/download (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный. (In Eng.).
15. Яковина М. Ю., Кorableва А. А. Рецессионные шоки и региональная экономическая устойчивость // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2020. – № 3 (35). – С. 117–123. – DOI: 10.24411/2225-8264-2020-10056. – Текст: электронный.
16. Григорьев Л. М. Влияние шоков 2020–2023 гг. на деловой цикл // Современная мировая экономика. – 2023. – № 1 (1). – С. 8–32. – URL: <https://cwejournal.hse.ru/issue/view/1141> (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный.
17. Такташева М., Воскобойников И. Динамика среднегодовой численности занятых в отраслях российской экономики, 1958–2004. Презентация (3 октября 2017) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hse.ru/data/2017/10/03/1159468560/2017-10-02%20MTaktasheva.pdf> (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный.
18. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2015 г. – URL: https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/B15_14s/Main.htm (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный.
19. Приложение к Ежегоднику. 2020 г. – URL: https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/b20_13pr/Main.htm (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный.
20. Труд и занятость в России 2021. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13210> (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный.
21. Российский статистический ежегодник. 2022: Стат. сб. – Росстат: М., 2022. – 691 с.
22. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: Стат. сб. – Росстат: М., 2023. – 1126 с.
23. Регионы России: Стат. сб в 2 т. Т. 2. – Госкомстат России: М., 2001. – 827 с. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13396> (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный.
24. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2002. – Росстат: М., 2003. – 751 с.
13. Smorodinskaya N. V. Complication of the Organization of Economic Systems in the Conditions of Nonlinear Development. *Vestnik Instituta ekonomiki RAN*. 2017. No. 5. pp. 104–115. (In Russ.).
14. Lagravinese R. Economic Crisis and Rising Gaps North–South: Evidence from the Italian Regions. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. 2015. No. 8. pp. 331–342. Available at: https://www.researchgate.net/publication/271840129_Economic_crisis_and_rising_gaps_North-South_Evidence_from_the_Italian_regions/link/54d72e070cf25013d036bc47/download
15. Yakovina M.Yu., Korableva A.A. Recessionary Shocks and Regional Economic Stability. *Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informacionnyh tekhnologij*. 2020. No. 3 (35). pp. 117–123. (In Russ.). DOI: 10.24411/2225-8264-2020-10056.
16. Grigoriev L. M. The Impact of the 2020-2023 Shocks on the Business Cycle. *Sovremennaya mirovaya ekonomika*. 2023. No. 1 (1). pp. 8-32. Available at: <https://cwejournal.hse.ru/issue/view/1141> (In Russ.).
17. Taktasheva M., Voskoboinikov I. Dynamics of the Average Annual Number of Employees in the Sectors of the Russian Economy, 1958-2004. Presentation (October 3, 2017). Available at: <https://www.hse.ru/data/2017/10/03/1159468560/2017-10-02%20MTaktasheva.pdf> (In Russ.).
18. Regions of Russia. The main characteristics of the Russian Federation subjects. 2015. Available at: https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/B15_14s/Main.htm (In Russ.).
19. Appendix to the Yearbook. 2020. Available at: https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/b20_13pr/Main.htm (In Russ.).
20. Labor and Employment in Russia 2021. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13210> (In Russ.).
21. Russian Statistical Yearbook. 2022: Stat. collection. *Rosstat*. M., 2022. 691 p. (In Russ.).
22. Regions of Russia. Socio-Economic indicators. 2023: Stat. collection. *Rosstat*. M., 2023. 1126 p. (In Russ.).
23. Regions of Russia: Stat. Collection in 2 vols. Vol. 2. *Goskomstat of Russia*. M., 2001. 827 p. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13396> (In Russ.).
24. Regions of Russia. The Main Characteristics of the Russian Federation Subjects. 2002. *Rosstat*. M., 2003. 751 p. (In Russ.).

25. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2008. – URL: https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/B08_14s/IssWWW.exe/Stg/sz/sz-fo.htm (дата обращения 30.03.2025). – Текст: электронный.

26. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2016. – Росстат: М., 2017. – 751 с.

27. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024. – Росстат: М., 2024. – 1081 с.

25. Regions of Russia. Main Characteristics of the Russian Federation Subjects. 2008. Available at: https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/B08_14s/IssWWW.exe/Stg/sz/sz-fo.htm (In Russ.).

26. Regions of Russia. The Main Characteristics of the Subjects of the Russian Federation. 2016. *Rosstat*. М., 2017. 751 pp. (In Russ.).

27. Regions of Russia. Socio-Economic Indicators. 2024. *Rosstat*. М., 2024. 1081 p. (In Russ.).

Научная статья
УДК 005.7
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-41-51

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Валерий Владимирович Трофимов^{1✉}, Артем Данилович Иус²

^{1,2}Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия

¹tw@mail.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-3518-8192>

²iustema74@gmail.com

Язык статьи – русский

Аннотация: Целью данной работы является разработка и опытная реализация концепции информационной системы (ИС) для точного земледелия, обеспечивающей сбор, обработку, анализ и визуализацию данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды. Такая ИС способствует принятию обоснованных решений по управлению посевами, оптимизации использования ресурсов и созданию основы для интеграции с системами управления предприятием (ERP), что в итоге приводит к повышению эффективности и устойчивости сельскохозяйственного производства. Информационно-аналитическая основа представленного исследования охватывает совокупность международных стандартов, регламентирующих процессы разработки и реализации проектов в сфере ИКТ, специализированные публикации и монографии, посвященные вопросам проектирования управленческих ИС и ведения точного земледелия, а также эмпирический материал, полученный на основании практического опыта организаций.

Методологические подходы включают содержательный анализ литературных источников, проведение сопоставительного анализа известных методик формирования ИС, исследование внутренней структуры технологических процессов и инструментариев сельскохозяйственных предприятий, а также современные статистические методы.

Результатом стало создание концепции ИС, предназначенной для сельскохозяйственных предприятий с акцентом на точное земледелие. Данная система предназначена для комплексной обработки, детального изучения и графического представления сведений относительно состояния почвенного покрова, роста сельскохозяйственных культур и факторов внешней среды.

Апробация пилотного варианта ИС на сельскохозяйственном предприятии показала, что ее применение способствует повышению урожайности и снижению затрат на удобрения. Такая ИС может быть положена в основу создания цифрового сельскохозяйственного предприятия, а результаты исследования могут быть использованы для разработки нормативно-справочной документации по внедрению цифровых технологий для точного земледелия.

Ключевые слова: ГИС, информационная система, машинное обучение, оптимизация затрат, точное земледелие, урожайность, цифровая трансформация, цифровое сельское хозяйство

Ссылка для цитирования: Трофимов В. В., Иус А. Д. Повышение эффективности хозяйственной деятельности предприятий точного земледелия на основе использования цифровых технологий // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 41–51. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-41-51>.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ECONOMIC ACTIVITIES OF PRECISION FARMING ENTERPRISES THROUGH THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES

Valeriy V. Trofimov^{1✉}, Artem D. Ius²

^{1,2}Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia

¹tw@mail.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-3518-8192>

²iustema74@gmail.com

Article in Russian

Abstract: The objective of this work is to develop and experimentally implement the concept of an information system (IS) for precision farming, providing for the collection, processing, analysis and visualization of data on the state of the soil, plants and the environment. Such an IS facilitates informed decision-making on crop management, optimization of resource use and creation of a basis for integration with enterprise resource planning (ERP) systems, which ultimately leads to increased efficiency and sustainability of agricultural production. The information and analytical basis of the presented study covers a set of international standards regulating the processes of development and implementation of ICT projects, specialized publications and monographs devoted to the design of management IS and precision farming, as well as empirical material obtained on the basis of the practical experience of organizations.

Methodological approaches include a substantive analysis of literary sources, a comparative analysis of known IS formation methods, a study of the internal structure of technological processes and tools of agricultural enterprises, as well as modern statistical methods.

The result was the creation of an IS concept designed for agricultural enterprises with an emphasis on precision farming. This system is designed for complex processing, detailed study and graphic presentation of information on the state of the soil cover, growth of agricultural crops and environmental factors.

Testing of the pilot version of the IS at an agricultural enterprise showed that its use helps to increase crop yields and reduce fertilizer costs. Such an IS can be used as a basis for creating a digital agricultural enterprise, and the research results can be used to develop regulatory and reference documentation for the implementation of digital technologies for precision farming.

Keywords: cost optimization, crop yield, digital agriculture, digital transformation, GIS, information system, machine learning, precision farming, sensors

For citation: Trofimov V. V., Ius A. D. Improving the Efficiency of Economic Activities of Precision Farming Enterprises Through the Use of Digital Technologies. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 41–51. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-41-51>.

Введение. В современном аграрном секторе наблюдается устойчивая тенденция к интенсификации производства, обусловленная необходимостью обеспечения продовольствием растущего населения планеты, и повышению эффективности использования ограниченных природных ресурсов. Традиционные методы земледелия, характеризующиеся усредненным подходом к управлению посевами и ресурсами, демонстрируют существенные ограничения в достижении этих целей. Неравномерность урожайности, неоптимальное использование удобрений и средств защиты растений, а также зависимость от климатических факторов приводят к снижению рентабельности и увеличению экологической нагрузки на агроэкосистемы [1].

Альтернативой традиционным технологиям становится концепция точного земледелия (ТЗ), основанная на применении информационных технологий, дистанционном мониторинге полей, картографировании пространственных данных посредством ГИС-технологий и автоматизированных инструментов контроля. Суть концепции ТЗ состоит в учете внутривидовых вариаций агроклиматических показателей и адаптации мероприятий по уходу за растениями к индивидуальным характеристикам отдельных участков, что обеспечивает рациональное

распределение ресурсов, рост урожайности и минимизирует негативное воздействие на природу.

Цель настоящего исследования заключается в создании научно-обоснованной концепции информационной системы (ИС), ориентированной на потребности точного земледелия, способствующей эффективному накоплению, анализу и наглядному отображению данных о почве, культурах растений и внешних условиях окружающей среды. Такая информационная система призвана стать инструментом для оперативного принятия управленческих решений и эффективной интеграции с корпоративными системами управления предприятием (Enterprise Resource Planning, ERP). Ее реализация будет способствовать повышению производительности труда и эффективности сельскохозяйственной деятельности.

В рамках достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**.

1) Проведение критического обзора имеющихся подходов к проектированию информационных систем для нужд точного земледелия и выделение ключевых преимуществ и недостатков существующей практики.

2) Разработка концепции информационной системы, включающей модули сбора данных, географического анализа, моделиро-

вания и поддержки принятия управленческих решений.

3) Определение эффективных методов анализа данных, позволяющих давать более достоверные прогнозы урожайности.

4) Апробация функциональности системы и оценивание ее экономической целесообразности на конкретном примере фермерского хозяйства.

5) Формулирование предложений по внедрению и тиражированию.

Обзор литературы. Анализ научной литературы показал, что точное земледелие является предметом активных исследований в последние десятилетия. Многочисленные публикации посвящены разработке технологий и оборудования для сбора данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды, а также методам анализа этих данных для принятия обоснованных решений по управлению посевами.

Концепция и принципы точного земледелия подробно рассмотрены в работах Thiruvengadam [2] и Gebbers [3], где авторы подчеркивают важность учета изменчивости внутри каждого участка поля и адаптации агротехнических мероприятий к конкретным потребностям каждого участка поля.

В работах Stafford [4] и McBratney [5] предложены методы картирования полей и определения зон с различным уровнем урожайности на основе данных дистанционного зондирования и наземных измерений.

Технологии и оборудование для точного земледелия включают широкий спектр датчиков и сенсоров, ГИС, дроны и автоматизированную технику. Так, Adamchuk [6] и Viscarra Rossel [7] предлагают классификацию приборов, предназначенных для измерения влажности грунта, температуры, кислотности и содержания основных макроэлементов.

Роль беспилотных авиационных аппаратов в дистанционной диагностике текущего состояния посевов исследуется в материалах Hunt [8] и Berni [9]. Автоматизированные агрегаты, способные регулировать нормы внесения минеральных удобрений и инсектицидов, проанализированы в публикациях Auernhammer [10] и Lark [11].

Комплексные системы информационного сопровождения точных аграрных практик

предполагают наличие интеграционного слоя, связывающего программные приложения и технические устройства для осуществления процедур сбора, предварительной обработки, углубленного анализа и представления собранных данных о почве, культурах и экологии региона. Примеры архитектурных схем подобных систем приводятся в работах Pierce [12] и Robert [13], где подчеркивается ключевое значение модулей геопространственного анализа, цифрового моделирования и поддержки квалифицированных решений. Bongiovanni [14] и Walter [15] раскрывают тему сопряжения информационных систем с внешними хранилищами данных различного происхождения, такими как базы данных космических снимков, погодные сводки и экономические индикаторы рынка.

Облачные технологии и аналитика больших данных играют важную роль в современных ИС для точного земледелия. В работах Eastwood [16] и Kamilaris [17] описаны преимущества использования облачных платформ для хранения и обработки больших объемов данных, поступающих с датчиков и других источников информации. В работах Liakos [18] и Veres [19] рассмотрены методы машинного обучения и искусственного интеллекта, используемые для анализа данных и прогнозирования урожайности.

Вопросы организационной совместимости между системой точного земледелия и крупными корпоративными платформами управления бизнесом приобретают особую остроту. Barnes [20] и Klopfenstein [21] предлагают схемы интеграции данных о процессах растениеводства с показателями расходов и рыночной конъюнктуры в единую корпоративную платформу ERP, открывая возможности эффективного администрирования производственной цепочки.

Оценивание экономической эффективности и экологической устойчивости точного земледелия является важным аспектом исследований в данной области. В работах Swinton [22] и Uri [23] представлены результаты исследований, показывающие, что применение технологий точного земледелия может привести к повышению урожайности, снижению затрат на удобрения и средства защиты растений, а также уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Несмотря на значительный прогресс в области точного земледелия, существует ряд нерешенных проблем и перспективных направлений исследований. К ним относятся: оценка экономической эффективности различных технологий и подходов точного земледелия в различных условиях; использование современных методов анализа данных, позволяющих выявлять сложные закономерности и прогнозировать урожайность с высокой точностью; разработка адаптивных систем поддержки принятия решений, учитывающих различные факторы и сценарии; интеграция ИС точного земледелия с другими информационными системами и базами данных.

Методы и алгоритмы анализа данных. В контексте информационной системы для точного земледелия анализ данных представляет собой критически важный этап, обеспечивающий преобразование первичной информации, полученной с датчиков, сенсоров и других источников, в ценные знания, необходимые для принятия обоснованных экономических и агрономических решений. Предлагаемая концепция ИС включает широкий спектр статистических методов, алгоритмов машинного обучения и методов пространственного анализа для решения различных задач, связанных с мониторингом состояния почвы и растений, прогнозированием урожайности и оптимизацией использования ресурсов. Можно выделить следующий базовый функционал ИС.

Описательная статистика позволяет получить первоначальное понимание общего характера данных, предоставляя статистику первого порядка, которая позволяет обнаружить экстремально высокие или низкие значения, характерные выбросы и особенности структуры выборки.

Корреляционный анализ выявляет силу и характер взаимосвязи между разными факторами, такими как качество почвы, микроклиматические условия и показатели здоровья растений.

Регрессионный анализ позволяет построить математическую модель, отражающую зависимость целевой переменной от одного или нескольких независимых факторов, такие модели используются, например, для прогнозирования урожайности, исходя из динамики

изменений физических параметров почвы и окружающих условий.

Дисперсионный анализ (ANOVA) используется для оценки различий средних значений в нескольких группах, позволяя проверить значимость отличий между средними величинами урожайности на разных полях или при использовании различных агротехнических приемов.

Кластерный анализ применяется для разделения всей территории поля на зоны, обладающие схожими характеристиками, что дает возможность индивидуально оценивать каждый участок.

Классификация необходима для категоризации объектов (растений, земель) по заранее определенным признакам. Например, с помощью алгоритмов SVM (Support Vector Machines) и Random Forest можно автоматически определять состояние растений (здоровы, поражены болезнями, испытывают недостаток питательных веществ).

Алгоритмы машинного обучения предлагают более продвинутые варианты регрессионного анализа, такие как полиномиальная регрессия и многослойные нейронные сети, применяемые для построения многофакторных прогнозов урожайности.

Нейронные сети способны решать широкий круг задач, включая предиктивное моделирование урожайности, диагностику состояний растений и разработку оптимальных планов по применению ресурсов.

Интерполяция способствует восстановлению отсутствующих значений параметров в промежуточных точках путем экстраполяции данных, зафиксированных в опорных пунктах. Применяются методы IDW (Inverse Distance Weighting) и Kriging для создания контурных карт распределения показателей почвы и урожайности.

Анализ близости оценивает различия между объектами и определяет степень влияния расположенных рядом объектов друг на друга. Подобный подход полезен для выяснения роли рельефа, типа почвы и других локальных факторов на продуктивность выращивания культур.

Пространственная автокорреляция помогает оценить степень совпадения значений одних и тех же признаков в близких объектах. Пространственная автокорреляция полезна,

например, для идентификации областей с повышенной или пониженной урожайностью.

Геостатистика специализируется на анализе пространственно распределенной информации. Сюда входят методы вариограммного анализа и Кригинга, применяемые для моделирования пространственной изменчивости почвенных характеристик и урожайности.

Выбор конкретного функционала зависит от поставленных задач, типов данных и требуемой точности результатов. Предлагаемая концепция ИС предоставляет гибкий инструментарий для выбора наиболее подходящих методов анализа данных и настройки их параметров для достижения оптимальных результатов.

Требования к информационной системе. Предлагаемая концепция информационной системы для точного земледелия представляет собой интегрированный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, анализ и визуализацию данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды [24]. ИС предназначена для поддержки принятия обоснованных решений по управлению посевами, оптимизации использования ресурсов и созданию основы для построения цифрового сельскохозяйственного предприятия на базе интеграции с системами его управления (ERP). Общая схема ИС включает следующие основные компоненты, представленные на рисунке 1. Опишем их функционал.

1) Подсистема сбора данных (ПСД) обеспечивает сбор данных с различных источников, включая датчики почвы, метеостанции, дроны и ручные измерения, выполняет регистрацию исходной информации, необходимой для дальнейшего анализа и принятия решений. Она объединяет следующие элементы:

- датчики почвы, предназначенные для фиксации таких параметров, как влажность, температура, кислотность (рН), концентрация полезных микроэлементов и иных характеристик грунта, информация поступает на центральный сервер посредством беспроводных сетей передачи данных (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN);

- автоматические метеостанции, осуществляющие мониторинг атмосферных

условий, таких как температура воздуха, относительная влажность, интенсивность осадков, направление и сила ветра, эти данные также поступают на центральный узел системы удаленно;

- дроны используются для получения аэрофотоснимков полей и оценки состояния посевов [25], данные обрабатываются с использованием методов компьютерного зрения и машинного обучения для выявления проблемных участков и оценки урожайности;

- ручные измерения включают сбор образцов почвы и растений для лабораторного анализа, а также визуальный осмотр посевов для выявления болезней и вредителей, данные вводятся в систему вручную через мобильное приложение или веб-интерфейс.

2) Подсистема геопространственного анализа (ПГА) обеспечивает создание и ведение электронных карт полей, интеграцию данных с различных источников и анализ пространственных данных для выявления неоднородностей и закономерностей. Выполняет систематизацию полученной информации следующим образом:

- создание и ведение электронных карт полей с использованием данных GPS/ГЛОНАСС для точного определения границ полей и создания электронных карт с информацией о рельефе, почвах, урожайности и истории обработок;

- интеграция данных с различных источников, поступающих с датчиков почвы, метеостанций, дронов и ручных измерений, в единую базу данных;

- анализ пространственных данных с использованием методов интерполяции (IDW, Kriging) для создания карт распределения параметров почвы и урожайности. Проводится анализ близости параметров для определения влияния различных факторов на урожайность.

3) Подсистема моделирования (ПМ) обеспечивает разработку и использование тематических моделей для прогнозирования урожайности, оптимизации использования ресурсов и оценки влияния различных факторов на рост и развитие растений. Реализует расчетные процедуры, необходимые для предсказательной и оптимизационной деятельности:

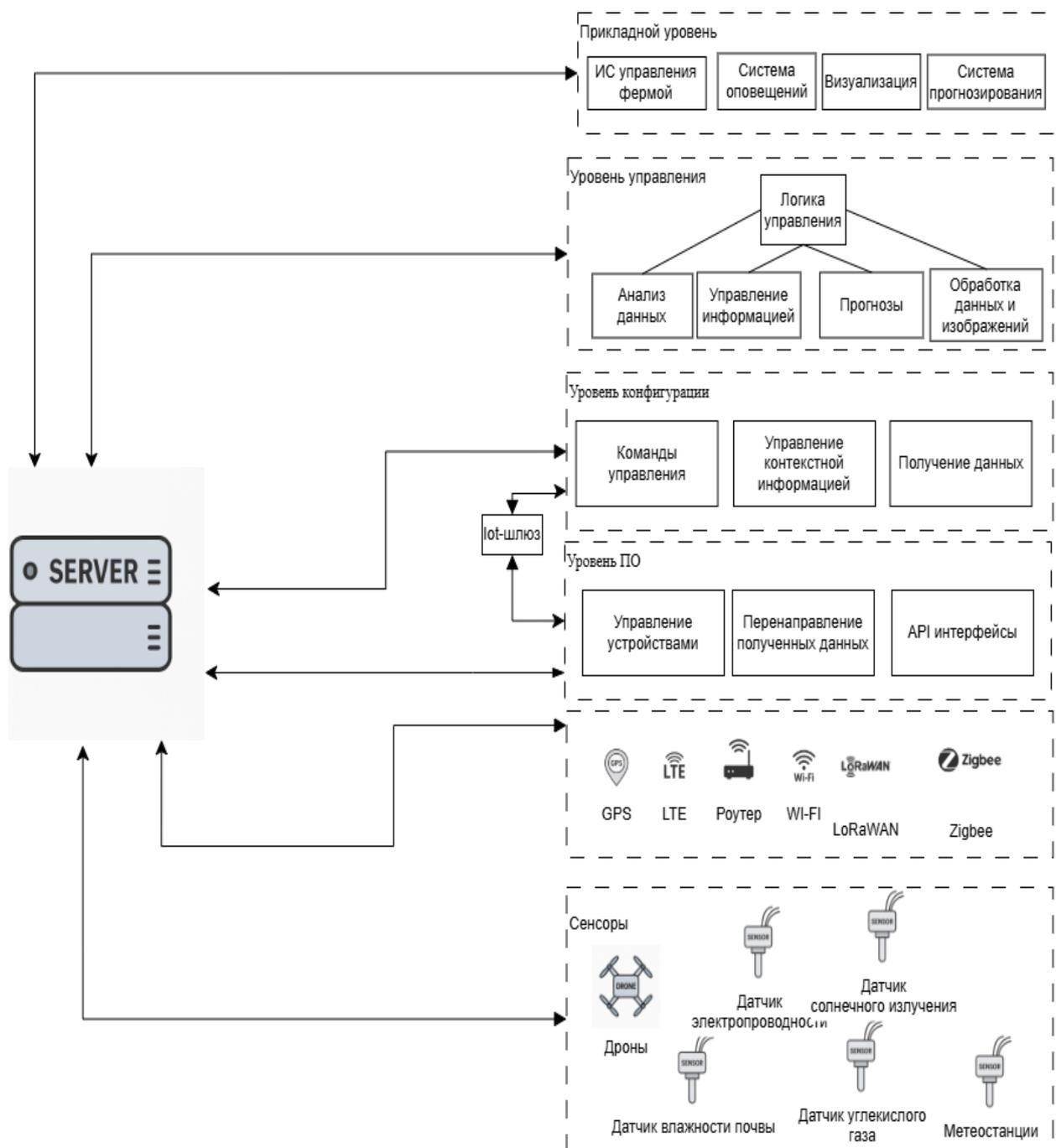


Рисунок 1 – Общая схема информационной системы для точного земледелия

Источник: подготовлено авторами

- моделирует процесс роста и развития растений, принимая во внимание климатические условия, доступность влаги, света и прочие биофизические факторы;

- прогнозирует ожидаемый объем урожая с использованием алгоритмов машинного обучения (линейная регрессия, искусственные нейронные сети), основываясь на текущих параметрах почвы, растений и текущих погодных показателях;

- осуществляет расчеты оптимальной стратегии использования ресурсов (норма внесения удобрений, объемы орошения, обработка средствами защиты растений), используя специальные алгоритмы оптимизации.

4) Подсистема поддержки принятия решений (ПППР) обеспечивает разработку рекомендаций по оптимальному внесению удобрений, поливу, обработке почвы и другим агротехническим мероприятиям на осно-

ве анализа данных и результатов моделирования. Предоставляет руководству предприятия необходимые сведения для обоснования принимаемых мер:

- дает конкретные советы по проведению агротехнических мероприятий, включая внесение удобрений, режим орошения, порядок подготовки почвы и прочие операции, рассчитанные на максимизацию результата;

- позволяет проводить виртуальные эксперименты, оценивая последствия изменения внешних условий (например, колебания климата, стоимость препаратов и удобрений) на конечный показатель урожайности и финансовую отдачу от вложенных средств;

- представляет всю необходимую информацию в удобной форме (карты, графики, отчеты), помогающей администрации быстро и качественно принимать взвешенные решения.

5) Подсистема интеграции с ERP-системой (ПИЭ) обеспечивает обмен данными между ИС и ERP-системой для планирования, учета и контроля ресурсов, а также автоматизации бизнес-процессов, связанных с управлением сельскохозяйственным производством:

- организует двунаправленный обмен данными между двумя указанными системами, передавая актуальные сведения о состоянии посевов, финансовых затратах и рыночных котировках между ними;

- автоматизирует рабочие процессы, связанные с планированием, учетом и контроллингом ресурсов, упрощая управление деятельностью предприятия в целом.

Предлагаемая концепция ИС обеспечивает комплексный подход к управлению сельскохозяйственным производством, который основан на данных и передовых технологиях. Интеграция всех компонентов ИС позволяет создать единую информационную среду, обеспечивающую принятие обоснованных решений на всех этапах производственного цикла, от планирования до уборки урожая.

Практическая апробация. Апробация предлагаемой концепции информационной системы (с базовым вариантом функционала) была осуществлена на базе сельскохозяйственного предприятия «N», расположенного в Орловской области. Хозяйство специализируется на выращивании зерновых (пшеница,

ячмень) и технических (подсолнечник, рапс) культур. Для апробации ИС было выбрано поле площадью 75 гектаров предназначенное для выращивания озимой пшеницы.

а) Описание процесса сбора, обработки и анализа данных.

Процесс сбора, обработки и анализа данных включал следующие 3 этапа:

1) Сбор данных.

Датчики почвы автоматически измеряли влажность, температуру и электропроводность почвы каждые два часа и передавали данные по беспроводной сети на центральный сервер.

Метеостанция автоматически измеряла температуру воздуха, влажность, осадки, скорость и направление ветра каждые 15 минут и передавала данные по беспроводной сети на центральный сервер.

Дрон проводил аэрофотосъемку поля каждые две недели в течение вегетационного периода. Полученные изображения обрабатывались с использованием программного обеспечения Agisoft Metashape для создания ортофотоплана и цифровой модели рельефа.

Проводились ручные измерения биомассы и содержания хлорофилла в листьях растений в 10 точках на поле каждые две недели.

2) Обработка данных.

Данные, полученные с датчиков почвы и метеостанции, очищались от ошибок и пропусков.

Ортофотоплан и цифровая модель рельефа, полученные с дрона, геопривязывались и интегрировались в ГИС.

На основе мультиспектральных изображений, полученных с дрона, рассчитывались вегетационные индексы, такие как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), характеризующие состояние посевов.

Данные, полученные с различных источников, объединялись в единую базу данных.

3) Анализ данных.

Проводился статистический анализ данных для выявления взаимосвязей между параметрами почвы, растениями и погодными условиями.

Использовались методы машинного обучения (кластеризация, классификация,

регрессия) для прогнозирования урожайности и выявления проблемных участков на поле.

Проводился пространственный анализ данных для создания карт распределения параметров почвы, урожайности и вегетационных индексов.

б) Представление результатов анализа данных.

Результаты анализа данных были представлены в виде карт:

- распределения параметров почвы (карты влажности, температуры и электропроводности почвы, созданные на основе данных датчиков почвы и методов интерполяции);

- распределения вегетационных индексов (карты NDVI и GNDVI, характеризующие состояние посевов, созданные на основе данных аэрофотосъемки);

- прогнозируемой урожайности (карты, показывающие прогнозируемую урожайность на различных участках поля, созданные на основе методов машинного обучения);

- отчетов, содержащих статистические данные о состоянии почвы, растений и погодных условиях, а также рекомендаций по оптимизации использования ресурсов.

в) Оценка влияния ИС на урожайность.

Для оценки влияния ИС на урожайность был проведен сравнительный анализ урожайности на поле, где использовалась ИС с базовым функционалом, и на контрольном поле, где применялись традиционные методы земледелия. Результаты анализа показали, что использование ИС позволило повысить урожайность озимой пшеницы на 12% по сравнению с контрольным полем. Кроме того, было отмечено снижение затрат на удобрения на 20% и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду.

Обсуждение результатов. Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность предлагаемой концепции информационной системы для точного земледелия в аспекте повышения урожайности и сокращения расходов на сельскохозяйственное производство. Благодаря комбинации данных, собираемых с датчиков почвы, метеостанций и дронов, удастся получать детализированную картину текущего состояния почвенного покрова, растительности и окружающей среды,

что создает основу для своевременного и компетентного принятия управленческих решений. Повышение урожайности и снижение затрат на азотные удобрения по сравнению с контрольным полем свидетельствует о том, что ИС позволяет рационализировать использование ресурсов и адаптировать агротехнические мероприятия к конкретным потребностям каждого участка поля.

Сравнение полученных результатов с результатами других исследований в данной области показывает, что предлагаемая концепция ИС находится на хорошем уровне относительно мировых практик. В работах Марюса Казлаускаса и соавторов [26] продемонстрировано аналогичное повышение урожайности озимой пшеницы до 14,55% при экономии удобрений, а работа Никлаоса Георгиадиса и соавторов [27] подтвердила, что технология VRA дает устойчивое сокращение затрат азотных удобрений примерно на 9% без потери продуктивности.

Необходимо отметить, что данное исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, оценка эффективности ИС проводилась на одном поле в течение одного вегетационного периода, что не позволяет учесть влияние различных погодных условий и сортовых особенностей на результаты. Во-вторых, не проводилась оценка влияния ИС на качество продукции и другие показатели эффективности сельскохозяйственного производства. В дальнейшем планируется провести более масштабные исследования с использованием таких ИС на различных полях и в течение нескольких вегетационных периодов. Также планируется расширить функциональность ИС, добавив возможность интеграции с системами управления предприятием (ERP) и другими информационными системами.

Заключение. В рамках проведенного исследования предложена и апробирована на практике концепция информационной системы для точного земледелия, обеспечивающая эффективное аккумулирование, обработку, анализ и интерактивное представление данных о состоянии почвы, росте растений и особенностях внешней среды. Комплексная схема ИС включает модуль сбора данных, блок геопространственного анализа, мощную аналитическую составляющую и специальный интерфейс поддержки принятия реше-

ний, функционирующие совместно на единой платформе. Апробация базового функционала системы показала, в сравнении с традиционной технологией, рост урожайности озимой пшеницы и сокращение расходов на удобрения. Данный эффект достигнут за счет персонализированного подхода к обслуживанию каждой отдельной части земельного надела, который учитывает индивидуальные характеристики и потребности в ресурсах.

Рассматриваемая концепция ИС позволяет создавать высокотехнологичные сельскохозяйственные предприятия, использующие непрерывный сбор данных и глубокую аналитику. Возможность интеграции с корпо-

ративными информационными системами управления ресурсами будет способствовать выходу на новый качественный уровень прозрачности и управляемости на всех этапах сельскохозяйственного производства. Будущие шаги исследований могут быть направлены на обогащение функционала системы новыми аналитическими процедурами, а также всестороннюю проверку работоспособности концепции ИС в разных регионах страны и с учетом особенностей возделываемых культур. Дополнительные исследования позволят раскрыть потенциал системы и закрепить позиции точного земледелия как ключевой составляющей современной аграрной политики.

Список источников

1. Помазкина Л. В. Оценка воздействия среды на функционирование агроэкосистем // Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции European Research: в 2 частях. Том Часть 1. 2017. – Пенза: Наука и Просвещение, 2017. – С. 31–34.
2. Thiruvengadam V., Yang Y., Chen B. A Review of Precision Agriculture Technologies for Site-Specific Nutrient Management // *Agronomy*. – 2022. – №. 12 – (8). – С. 1767. (In Eng.).
3. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision Agriculture and Food Chain Management // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2010. – № 73 (2). – С. 172–183. (In Eng.).
4. Stafford J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 2000. – № 76 (3). – С. 267–275. (In Eng.).
5. McBratney A. B., Whelan B. M., Ancev T., Bouma J. Future Directions of Precision Agriculture // *Precision Agriculture*. – 2005. – № 6 (1). – С. 7–23. (In Eng.).
6. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Fidelibus M. W., Green M. T. On-the-go Soil Sensors for Precision Agriculture // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2004. – № 44 (1). – С. 71–91. (In Eng.).
7. Viscarra Rossel R. A., Adamchuk V. I., Sudduth K. A., Hummel J. W. Global Relationships for Soil Property Estimation from Visible and Near-Infrared Spectra // *Soil Science Society of America Journal*. – 2011. – № 75 (5). – С. 1788–1803. (In Eng.).
8. Hunt E. R., Jr, Cavigelli M. A., Daughtry C. S. T., Walthall C. L., Kim M. S. Remote Sensing of Crop Leaf Area Index Near Saturation // *Agronomy Journal*. – 2005. – № 97 (6). – С. 1619–1627. (In Eng.).

References

1. Pomazkina L. V. Assessment of the Impact of the Environment on the Functioning of Agroecosystems. Collection of articles of the XIII International scientific and practical conference European Research: in 2 parts. Volume Part 1. 2017. Penza: Nauka i Prosveshcheniye. 2017. pp. 31–34. (In Russ.).
2. Thiruvengadam V., Yang Y., Chen B. A Review of Precision Agriculture Technologies for Site-Specific Nutrient Management. *Agronomy*. 2022. No. 12 (8). P. 1767.
3. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision Agriculture and Food Chain Management. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010. No. 73 (2). pp. 172–183.
4. Stafford J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2000. No. 76 (3). pp. 267–275.
5. McBratney A. B., Whelan B. M., Ancev T., Bouma J. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*. 2005. No. 6 (1). pp. 7–23.
6. Adamchuk V. I., Hummel J. W., Fidelibus M. W., Green M. T. On-the-go Soil Sensors for Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2004. No. 44 (1). pp. 71–91.
7. Viscarra Rossel R. A., Adamchuk V. I., Sudduth K. A., Hummel J. W. Global Relationships for Soil Property Estimation from Visible and Near-Infrared Spectra. *Soil Science Society of America Journal*. 2011. No. 75 (5). pp. 1788–1803.
8. Hunt E. R., Jr, Cavigelli M. A., Daughtry C. S. T., Walthall C. L., Kim M. S. Remote Sensing of Crop Leaf Area Index Near Saturation. *Agronomy Journal*. 2005. No. 97 (6). pp. 1619–1627.

9. Berni J. A. J., Zarco-Tejada P. J., Suárez L., Ferrio J. P., Araus J. L. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2009. – № 47 (3). – С. 722–738. (In Eng.).
10. Auernhammer H. Precision Farming – the Environmental Challenge // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2001. № 30 (1–3). С. 31–45. (In Eng.).
11. Lark R. M., Stafford J. V., Bolam H. C. Analysis of Spatial Variation in Soil and Crop Properties // *Advances in Agronomy*. – 2003. – № 81. – С. 203–276. (In Eng.).
12. Pierce F. J., Nowak P. Aspects of Precision Agriculture // *Advances in Agronomy*. – 2003. – № 68. – С. 1–85. (In Eng.).
13. Robert P. C. Precision Agriculture: A Challenge for Crop Nutrition Management // *Plant and Soil*. – 2002. – № 247 (1). – С. 143–153. (In Eng.).
14. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision Agriculture and Sustainability // *Agronomy Journal*. – 2012. – № 104 (3). – С. 663–680. (In Eng.).
15. Walter A., Finger R., Huber R., Buchmann N. Opinion: Smart Farming Needs Sound Agronomy // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2017. – № 114 (22). – С. 5908–5911. (In Eng.).
16. Eastwood C. R., Brooker A., Uysal I., Dennett A. Cloud Computing for Agricultural Development // *Journal of Agricultural Science*. – 2019. – № 157 (6). – С. 461–472. (In Eng.).
17. Kamilaris A., Kartakoulis A., Prenafeta-Boldú, F. X. A Review of the Use of Blockchain for IoT Data Management and Security // *IoT*. – 2017. – № 1 (3). – С. 1–27. (In Eng.).
18. Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine Learning in Agriculture: A Review // *Sensors*. – 2018. – № 18 (8). – С. 2674. (In Eng.).
19. Veres M., Văduva C., Baciuc C. Data Mining Techniques for Precision Agriculture: A Systematic Review // *Agriculture*. – 2022. – № 12 (10). – С. 1694. (In Eng.).
20. Barnes N. M., Cox P. G. The Integration of Precision Agriculture Information into a Whole Farm Management System // *Precision Agriculture*. – 2000. – № 2 (3). – С. 285–295. (In Eng.).
21. Klopfenstein C., Trent D. Integrating Precision Agriculture Technologies with Enterprise Resource Planning Systems // *Precision Agriculture*. – 2003. – № 4 (4). – С. 383–394. (In Eng.).
22. Swinton S. M., Lowenberg-DeBoer J. Evaluating the Profitability of Site-Specific Farming // *Site-Specific Management for Agricultural Productivity*. – 2001. – С. 495–520. (In Eng.).
23. Uri N. D. Agriculture and the Environment: The Issue of Nutrient Runoff // *Ecological Economics*. – 2000. – № 33 (1). – С. 69–81. (In Eng.).
9. Berni J. A. J., Zarco-Tejada P. J., Suárez L., Ferrio J. P., Araus J. L. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2009. No. 47 (3). pp. 722–738.
10. Auernhammer H. Precision Farming – the Environmental Challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2001. No. 30 (1–3). pp. 31–45.
11. Lark R. M., Stafford J. V., Bolam H. C. Analysis of Spatial Variation in Soil and Crop Properties. *Advances in Agronomy*. 2003. No. 81. pp. 203–276.
12. Pierce F. J., Nowak P. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 2003. No. 68. pp. 1–85.
13. Robert P. C. Precision Agriculture: A Challenge for Crop Nutrition Management. *Plant and Soil*. 2002. No. 247 (1). pp. 143–153.
14. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision Agriculture and Sustainability. *Agronomy Journal*. 2012. No. 104 (3). pp. 663–680.
15. Walter A., Finger R., Huber R., Buchmann N. Opinion: Smart Farming Needs Sound Agronomy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017. No. 114 (22). pp. 5908–5911.
16. Eastwood C. R., Brooker A., Uysal I., Dennett A. Cloud Computing for Agricultural Development. *Journal of Agricultural Science*. 2019. No. 157 (6). pp. 461–472.
17. Kamilaris A., Kartakoulis A., Prenafeta-Boldú, F. X. A Review of the Use of Blockchain for IoT Data Management and Security. *IoT*. 2017. No. 1 (3). pp. 1–27.
18. Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*. 2018. No. 18 (8). P. 2674.
19. Veres M., Văduva C., Baciuc C. Data Mining Techniques for Precision Agriculture: A Systematic Review. *Agriculture*. 2022. No. 12 (10). P. 1694.
20. Barnes N. M., Cox P. G. The Integration of Precision Agriculture Information into a Whole Farm Management System. *Precision Agriculture*. 2000. No. 2 (3). pp. 285–295.
21. Klopfenstein C., Trent D. Integrating Precision Agriculture Technologies with Enterprise Resource Planning Systems. *Precision Agriculture*. 2003. No. 4 (4). pp. 383–394.
22. Swinton S. M., Lowenberg-DeBoer J. Evaluating the Profitability of Site-Specific Farming. *Site-Specific Management for Agricultural Productivity*. 2001. С. 495–520.
23. Uri N. D. Agriculture and the Environment: The Issue of Nutrient Runoff. *Ecological Economics*. 2000. No. 33 (1). pp. 69–81.

24. Обухова А. С. и др. Цифровые технологии как фактор обеспечения конкурентоспособности в аграрном производстве // Вестник аграрной науки. – 2022. – № 4 (97). – С. 112–116.
25. Зубарев Ю. Н. и др. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник ПФИЦ. – 2019. – № 2. – С. 47–51.
26. Kazlauskas M. et al. The Comparison Analysis of Uniform-and Variable-rate Fertilizations on Winter Wheat Yield Parameters Using Site-Specific Seeding // Processes. – 2022. – Т. 10. – № 12. – С. 2717. (In Eng.).
27. Georgiadis N. et al. Research Article Advances in Agriculture, Horticulture and Entomology AAHE-184 ISSN 2690-1900.
24. Obukhova A. S. et al. Digital Technologies as a Factor in Ensuring Competitiveness in Agricultural Production. *Vestnik agrarnoi naiki*. 2022. No. 4 (97). pp. 112–116. (In Russ.).
25. Zubarev Yu. N. et al. Use of Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture. *Vestnik PFIC*. 2019. No. 2. pp. 47–51. (In Russ.).
26. Kazlauskas M. et al. The Comparison Analysis of Uniform-and Variable-rate Fertilizations on Winter Wheat Yield Parameters Using Site-Specific Seeding. *Processes*. 2022. Vol. 10. No. 12. P. 2717.
27. Georgiadis N. et al. Research Article Advances in Agriculture, Horticulture and Entomology AAHE-184 ISSN 2690-1900.

Научная статья
УДК 330.341.1
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-52-58

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НАУКОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Марина Владимировна Шермадини

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия, essmd@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1694-7234>
Язык статьи – русский

Аннотация: В статье предлагается подход к моделированию инновационных процессов наукоемких предприятий с использованием экономико-математических моделей. Актуальность исследования обусловлена необходимостью точной оценки отдачи от инвестиций в инновации в условиях высокой технологической динамики и нестабильной внешней среды. Предложенная модель учитывает временные задержки (лаги) между финансированием и результатами, а также эффекты памяти, отражающие снижение эффективности без постоянного инновационного развития. Модель описывает динамику доходности как функцию от объема финансирования инновационной и текущей деятельности и внутреннего состояния предприятия. Формализуется понятие конкурентоспособности, вводятся количественные показатели, отражающие чувствительность предприятия к инновационным воздействиям. Также обозначается необходимость учета оптимального распределения ресурсов между инновационными проектами с учетом ограничений и особенностей технологического развития.

Новизна исследования заключается в применении аппарата конечных автоматов для анализа состояния предприятия и построения прогностической модели, интегрированной в систему цифрового управления инновациями. Представленный подход позволяет обеспечить обоснованную поддержку управленческих решений, связанных с выбором и финансированием инновационных направлений развития наукоемких организаций.

Ключевые слова: инвестиции, инновационные процессы, конкурентоспособность, наукоемкое предприятие, экономико-математическое моделирование

Ссылка для цитирования: Шермадини М. В. Моделирование инновационных процессов наукоемких предприятий // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 52–58. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-52-58>.

MODELING OF INNOVATION PROCESSES OF KNOWLEDGE-INTENSIVE ENTERPRISES

Marina V. Shermadini

RUDN University, Moscow, Russia, essmd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1694-7234>
Article in Russian

Abstract: This paper proposes an approach to modeling innovation processes in high-tech enterprises using economic and mathematical models. The relevance of the study stems from the need for a precise evaluation of innovation investment effectiveness under rapid technological changes and external uncertainty. The suggested model accounts for time lags between investments and results, as well as memory effects that describe declining performance in the absence of continuous innovation. The model describes profitability dynamics as a function of investment volumes in both innovation and operational activities, as well as the internal state of the enterprise. The concept of competitiveness is formalized, and quantitative indicators are introduced to reflect the organization's sensitivity to innovation-related impacts. The paper also considers the problem of optimal resource allocation across innovation projects under financial and technological constraints.

The novelty of the research lies in applying finite automata to enterprise state analysis and developing a predictive model integrated into digital innovation management systems. The proposed approach enables informed managerial decision-making concerning the prioritization and funding of innovative activities, thereby enhancing the competitiveness and sustainability of high-tech enterprises.

Keywords: competitiveness, economic and mathematical modeling, innovation processes, investment, high-tech enterprise

For citation: Shermadini M. V. Modeling of Innovation Processes of Knowledge-Intensive Enterprises. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 52–58. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-52-58>.

Введение. При практической реализации инновационных процессов необходимо использовать экономико-математические модели, которые будут описывать взаимосвязь между финансированием инновационных проектов и результатами деятельности предприятий. Для наукоемких предприятий эта взаимосвязь является нелинейной, поскольку отдача от внедрения инновационных технологий может быть не мгновенной, а через определенное время, необходимое предприятию на переход к новым технологиям и адаптацию технологических цепочек.

Кроме того, в инновационных проектах всегда присутствует определенный риск, связанный с недостижением планируемого эффекта от инноваций или существенное удорожание технологий при внедрении инноваций. Поэтому для оценки эффективности инновации необходимо иметь более сложные модели для анализа процессов инноваций на наукоемких предприятиях. В условиях современной экономики наукоемкие предприятия сталкиваются с необходимостью быстрого принятия решений в сфере инвестирования в инновации, что требует более точных моделей оценки эффектов от таких инвестиций.

Традиционные модели, как правило, основываются на предположении о мгновенной отдаче и линейной зависимости между ресурсами и результатами, что не отражает реальную сложность инновационных процессов. Недостаточная адаптивность этих моделей к временным задержкам и кумулятивным эффектам приводит к рискам неэффективного распределения ограниченных ресурсов, особенно в условиях технологической турбулентности.

Литературный обзор. В последние годы активно развиваются подходы к моделированию инновационной деятельности с использованием формальных методов, включая конечные автоматы и смежные концепции теории автоматов. В работе [1] подчеркивается значимость комплексных управленческих моделей, интегрирующих цифровые инструменты для повышения эффективности инновационного менеджмента

Исследование [2] акцентирует внимание на роли накопленных знаний и когнитивных моделей в эволюции инновационных систем,

что прямо соотносится с понятием «памяти» в конечно-автоматных моделях.

В свою очередь, в [3] раскрывают значение цифровых инноваций как ключевого элемента организационной трансформации, поддерживающего принятие решений в условиях высокой неопределенности.

Особое внимание уделяется и формализации механизмов инновационной динамики. Так, Kline и Rosenberg отмечают, что инновации редко происходят в изоляции – они являются частью более широкой цепочки технологических изменений, что оправдывает использование рекурсивных моделей [4].

Эти подходы коррелируют с отечественными исследованиями (Маслова, Шамин, Чурсин и др.), где конечные автоматы рассматриваются как эффективный инструмент для анализа состояний экономических систем с учетом памяти и временных лагов.

Таким образом, предлагаемая модель интегрирует международный и отечественный опыт в области моделирования инновационных процессов, расширяя существующие методологические рамки за счет применения формальных автоматных структур к задачам стратегического управления.

Моделирование на основе конечного автомата. Инновации на предприятии позволяют повышать конкурентоспособность выпускаемой продукции, соответственно, при управлении инновационными процессами необходимо иметь соответствующее моделирование, которое позволит количественно оценить влияние инноваций на наукоемкое предприятие.

Математические модели инновационных процессов на основе конечных автоматов позволяют не только оценивать влияние инновационных процессов на финансовую результативность наукоемких предприятий, но и решать оптимизационные задачи об оптимальном распределении финансирования инновационных проектов для максимизации результативности предприятия.

Рассмотрим общие определения, связанные с конечными автоматами. Конечным автоматом называется абстрактная математическая модель системы, состоящей из конечного числа состояний, которая переходит из одного состояния в другое в ответ на входные воздействия.

Модели на основе конечных автоматов устанавливают связь между входом (финансированием инновационных проектов) и выходом (доходом) предприятия. Классические производственные функции описывают мгновенную связь между факторами производства и объемами выпуска продукции. При этом, при фиксированной производственной функции при одинаковых факторах производства объем выпуска будет тоже одинаковым. В реальности, однако, это не всегда верно.

При моделировании инновационных процессов с помощью конечных автоматов будем рассматривать действительные числа или вектора, состоящие из чисел.

Формально конечный автомат задается пятеркой $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, где Q – множество состояний, Σ – множество входных символов, δ – функция переходов, $q_0 \in Q$ – начальное состояние, $F \subseteq Q$ – множество допустимых (финальных) состояний.

Пусть предприятие находится в одном из трех состояний: $Q = \{\text{низкая эффективность, средняя эффективность, высокая эффективность}\}$. Входной сигнал – уровень инновационного финансирования (например, низкий, средний, высокий). Функция переходов δ описывает, как при разном уровне финансирования предприятие переходит из одного состояния в другое.

Пусть множество состояний предприятия

$$Q = \{q_1, q_2, q_3\}, \quad (1)$$

где q_1 – низкая эффективность, q_2 – средняя эффективность, q_3 – высокая эффективность.

Множество входных сигналов (финансирования):

$$\Sigma = \{x_1, x_2, x_3\}, \quad (2)$$

где x_1 – низкий уровень, x_2 – средний уровень, x_3 – высокий уровень.

Функция перехода δ :

$$\delta(q_1, x_1) = q_1; \delta(q_1, x_2) = q_2; \delta(q_1, x_3) = q_3; \quad (3)$$

$$\delta(q_2, x_1) = q_1; \delta(q_2, x_2) = q_2; \delta(q_2, x_3) = q_3; \quad (4)$$

$$\delta(q_3, x_1) = q_2; \delta(q_3, x_2) = q_2; \delta(q_3, x_3) = q_3. \quad (5)$$

Функция выхода u :

$$u = \lambda(q, x) = w_q \cdot \log(1 + x), \quad (5)$$

где w_q – коэффициент состояния.

Заметим, что при среднем уровне инновационного финансирования предприятие может перейти из низкой эффективности в среднюю, а при высоком – сразу в высокую эффективность. Такая модель позволяет анализи-

ровать сценарии управления инновационной активностью. Следовательно, с помощью методов конечных автоматов возможно оценить эффективность инноваций предприятия.

Оптимизационная задача. Используя модели процессов инноваций предприятий, можно рассматривать оптимизационную задачу распределения финансирования инноваций для моделирования связи между финансированием предприятия и доходом предприятия.

Постановка задачи оптимального распределения ресурсов может быть оформлена следующим образом: необходимо максимизировать суммарный эффект от инновационных проектов при ограничении общего бюджета. Пусть u_1, u_2, \dots, u_n – объемы финансирования n проектов, тогда целевая функция $E = \sum e_i(u_i) \rightarrow \max$, при условии $\sum u_i \leq B$, где B – общий бюджет, а $e_i(u_i)$ – функция отдачи от инвестиций в i -й проект. В качестве метода решения может применяться динамическое программирование, особенно если каждый проект имеет дискретные этапы реализации с пороговыми эффектами. При наличии линейной зависимости между уровнем финансирования и эффектом могут использоваться классические методы линейного программирования или многокритериальной оптимизации.

Для математического описания временной задержки (лага) реакции предприятия на финансирование инновационных проектов подходящим математическим инструментом являются модели на основе конечных автоматов.

Как правило, в течение времени прибыль фиксированного предприятия при одинаковом финансировании будет уменьшаться. Это связано с тем, что без инноваций конкурентоспособность продукции будет снижаться. Поэтому возникает необходимость в математических моделях, обладающих «памятью». Для описания эффекта памяти предлагается применять конечные автоматы [5].

Математическая модель конечного автомата для описания состояния предприятия имеет следующий вид:

$$q(k+1) = \delta(q(k), x(k)), \quad (6)$$

$$y(k) = \lambda(q(k), x(k)), \quad (7)$$

где $q(k)$ – внутреннее состояние предприятия на шаге k , $x(k)$ – входной вектор (например, объем финансирования инноваций и текущей деятельности), δ – функция перехода, описывающая изменение состояния, λ – функция выхода, определяющая, например, уровень доходности или конкурентоспособности предприятия.

Эта система уравнений позволяет учитывать как краткосрочные эффекты (через λ), так и долговременную динамику (через δ).

Таким образом использование экономико-математических моделей на основе конечных автоматов, позволяет учитывать эффекты «памяти» при отдаче от инноваций для предприятий.

Динамическая модель внутренних состояний предприятия. С помощью предложенных моделей рассматриваются динамические процессы инвестирования. На наукоемких предприятиях при моделировании инновационных процессов с помощью методов конечных автоматов необходимо построить модель внутренних состояний предприятия, которая определяет результативность предприятия в зависимости от финансирования этого предприятия [6]. Обычно такая связь может быть описана с помощью какой-либо производственной функции.

Рассмотрим числовой пример: предприятие имеет два возможных проекта. Проект А требует три месяца на разработку и два – на внедрение, общая стоимость — 5 млн руб.,

эффект – переход предприятия из среднего состояния в высокое. Проект В дешевле (3 млн руб.), но его эффект – только повышение внутри текущего состояния (например, увеличение доходности без изменения класса эффективности). Выбор между ними может зависеть от текущего состояния, стратегических целей (быстрый рост или стабильность) и уровня доступных ресурсов. Использование модели конечных автоматов позволяет количественно сравнить такие варианты и обосновать приоритет.

Поскольку мы рассматриваем динамическую модель функционирования предприятия, то необходимо описать механизм, который будет отражать объективные свойства снижения со временем результативности предприятия без использования инноваций.

При описании множества внутренних состояний предприятий с учетом процессов снижения эффективности предприятий без использования инновационных подходов необходимо рассмотреть возможные инновационные проекты в сфере деятельности предприятий. Для каждого инновационного проекта необходимо оценить время, необходимое для разработки и внедрения инноваций, а также необходимое время для реализации инноваций. Кроме того, необходимо оценить влияние инноваций на внутренние состояния предприятия. Для этого можно предложить использовать следующую форму (таблица 1).

Таблица 1

Влияние инноваций на внутренние состояния организации

Источник: составлена автором

№ п/п	Наименование инновации	Время разработки, в месяцах	Стоимость разработки, в млн руб.	Время внедрения, в месяцах	Стоимость внедрения, в млн руб.	Влияние на состояние предприятия
1	Цифровой модуль управления	3	5	2	2	Переход из q_2 в q_3
2	Система мониторинга IoT	4	4	3	1.5	Укрепление состояния q_2
3	Платформа анализа данных	6	6	4	3	Переход из q_1 в q_2

Расчетный пример применения модели. Рассмотрим инновационное предприятие в состоянии q_2 (средняя эффективность), коэффициент $w_{q2} = 1,5$.

При уровне инновационного финансирования $x = 2$ (средний уровень) выход модели:

$$y = w_{q2} \cdot \ln(1 + x) = 1,5 \cdot \ln(3) \approx 1,5 \cdot 1,098 = 1,647 \quad (8).$$

Для сравнения, при состоянии q_1 (низкая эффективность, $w_{q1} = 1$) и том же $x = 2$ получим:

$$y = 1 \cdot \ln(3) \approx 1,098 \quad (9).$$

Применение модели позволяет количественно оценивать отдачу от инноваций и обосновывать увеличение финансирования для перехода в более высокую категорию эффективности.

После описания внутренних состояний предприятия и описания возможных инновационных технологий с указанием времени, стоимости и эффекта этих инноваций, можно построить динамическую модель на основе аппарата конечных автоматов по приведенной выше модели.

Оценка конкурентоспособности наукоемкого предприятия. Модель на основе конечных автоматов позволяет не только моделировать инновационные процессы и решать оптимизационные задачи в части финансирования инновационных проектов, но и оценивать конкурентоспособность наукоемких предприятий [7].

Определение конкурентоспособности наукоемких предприятий является сложной научной проблемой, поскольку для наукоемкого предприятия в понятие конкурентоспособности входит не только качественные характеристики предприятий, но и способность этого предприятия быстро реагировать на внедрение инноваций.

Свойство снижения результативности без применения инноваций является одной из характерных черт наукоемких предприятий, поскольку конкурентоспособность таких предприятий перманентно снижается без использования инновационных технологий. Обострение конкурентоспособности наукоемких предприятий показывает, что в высокотехнологичной сфере необходимы постоян-

ные инновации, которые позволят предприятию поддерживать и увеличивать конкурентоспособность [7].

Рассмотрим динамическую модель внутренних состояний наукоемкого предприятия, которые используются в конечно-автоматной модели, рассмотренной выше. Пусть мы имеем следующую рекуррентную последовательность

$$q(k+\tau) = G(q(k), a(k), u(k)), \quad (10)$$

где $q(k)$ – внутреннее состояние предприятия в момент времени k , $a(k)$ – объем финансирования предприятия в момент времени k без учета финансирования этих процессов, $u(k)$ – объем финансирования инновационных процессов, τ – эффективное время реакции на инновацию.

Полагая, что все коэффициенты являются числовыми, можно ввести показатель конкурентоспособности наукоемкого предприятия по влиянию инноваций следующим образом

$$Q(k) = \frac{q(k + \tau) - q(k)}{\alpha\tau + \beta u(k)}, \quad (11)$$

где коэффициенты α и β удовлетворяют условиям $\alpha \geq 0$, $\beta > 0$ и имеют смысл коэффициентов масштаба, а также важности времени реакции инновации и стоимости инновации в показатель конкурентоспособности предприятия.

Поскольку введенный показатель конкурентоспособности наукоемкого предприятия по реакции на инновации зависит от времени, но при построении картины инновационных процессов можно использовать динамику показателя конкурентоспособности.

Для дальнейшей характеристики предприятия с помощью конкурентоспособности по реакции на инновационные процессы можно также использовать конечные разности показателя конкурентоспособности, которые будут характеризовать не только «мгновенную» конкурентоспособность предприятия, но и тенденции конкурентоспособности предприятия при постоянном финансировании процессов инноваций предприятия. Для этого рассмотрим также следующий показатель тенденции конкурентоспособности предприятия:

$$DQ(k) = \frac{Q(k) - Q(k - \tau)}{\tau}. \quad (12)$$

Этот показатель вместе с основным показателем конкурентоспособности $Q(k)$ является важной количественной характеристикой инновационных процессов и может быть использован в общей схеме процессов инноваций.

Дополнительно можно учитывать интегральный показатель инновационной восприимчивости предприятия, отражающий его способность к освоению новых технологий, адаптации бизнес-процессов и обучению персонала. Этот показатель может быть введен как весовой коэффициент при расчете конкурентоспособности и использоваться для оценки зрелости инновационного управления. В условиях высокой неопределенности такие метрики приобретают особую ценность, поскольку позволяют выявить предприятия с потенциально высокой адаптивностью к изменениям технологической среды.

Практическая реализация. Предложенная модель была применена при анализе инновационной активности предприятия, специализирующемся на разработке и производстве приборов для электроэнергетики. Модель конечных автоматов использовалась для оценки отдачи от инвестиций в НИОКР и выявления периода «инновационного спада» без дополнительных вложений.

Результаты внедрения показали, что регулярная актуализация портфеля проектов и адаптивное распределение бюджета позволяют удерживать предприятие в «высоком» состоянии по шкале эффективности. В частности, корректировка объема финансирования на третьем этапе реализации инновационного проекта «Цифровой модуль управления» позволила ускорить переход к высокой эффективности и снизить потери на адаптацию.

Дополнительно модель тестировалась в рамках симуляционного анализа инновационной деятельности в дочерних структурах компании по внедрению инновационных технологий в магистральном и распределительном электросетевом комплексе, где использовалась для оценки сценариев распределения бюджета между цифровыми проектами различной зрелости.

Выводы. Предложенные модели на основе конечных автоматов позволяют учитывать ключевые особенности наукоемких предприятий: отставание эффектов от инвестиций, снижение эффективности без инноваций и необходимость постоянного развития. Использование конечных автоматов дает возможность описывать динамику внутреннего состояния предприятия, оценивать влияние инноваций и решать задачи оптимального распределения ресурсов.

Модели могут быть интегрированы в цифровые платформы управления инновациями, что делает их полезными в практическом управлении инновационной активностью. Полученные результаты могут использоваться не только в рамках отдельных предприятий, но и в стратегическом планировании на уровне отраслей и регионов. При интеграции в государственные системы поддержки инновационной активности модели на основе конечных автоматов могут стать инструментом для более точного прогнозирования отдачи от программ стимулирования НИОКР и оценки эффективности инновационной политики.

Предложенные модели позволяют оценивать и отслеживать динамику конкурентоспособности предприятия, используя количественные показатели и тенденции их изменения под влиянием инноваций.

Практическая реализация подобных моделей возможна в рамках существующих цифровых платформ управления предприятием, включая ERP- и MES-системы. Интеграция моделей в цифровую среду открывает перспективы автоматизированного планирования инновационной активности, мониторинга отклонений и гибкой перенастройки портфеля проектов в режиме реального времени. Кроме того, предложенный подход может быть полезен в системе поддержки принятия решений для управленцев и инвестиционных комитетов наукоемких организаций.

Конечные автоматы выступают как аналитический и управленческий инструмент цифрового моделирования, предназначенный для повышения обоснованности стратегических решений в инновационно активных организациях, особенно в условиях быстро меняющихся технологических ландшафтов [5].

Список источников

1. Dodgson M., Gann D., Phillips N. The Oxford Handbook of Innovation Management. – Oxford: Oxford University Press, 2023. – 680 p. (In Eng.).
2. Dosi G., Marengo L., Pasquali C. How knowledge shapes the evolution of innovation systems // *Research Policy*. – 2021. – Т. 50. – №. 9. – С. 104330. (In Eng.).
3. Fichman R. G., Dos Santos B. L., Zheng Z. Digital Innovation as a Fundamental and Powerful Concept in the Information Systems Curriculum // *MIS Quarterly*. – 2022. – Т. 46. – № 1. – С. 223–251. (In Eng.).
4. Kline S. J., Rosenberg N. An Overview of Innovation // In: *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. – Washington: National Academies Press, 2021. – С. 275–305. (In Eng.).
5. Шамин Р. В. Использование конечных автоматов в анализе экономических систем // *Журнал прикладной информатики*. – 2021. – № 4. – С. 22–30.
6. Гуляев В. В. Математическое моделирование в экономике. – М.: Юрайт, 2021. – 312 с.
7. Чурсин А. А. Конкурентоспособность наукоемких предприятий: теория и практика. – М.: Инфра-М, 2020. – 302 с.

References

1. Dodgson M., Gann D., Phillips N. The Oxford Handbook of Innovation Management. *Oxford: Oxford University Press, 2023*. 680 p.
2. Dosi G., Marengo L., Pasquali C. How knowledge shapes the evolution of innovation systems. *Research Policy*. 2021. Vol. 50. No. 9. P. 104330.
3. Fichman R. G., Dos Santos B. L., Zheng Z. Digital Innovation as a Fundamental and Powerful Concept in the Information Systems Curriculum. *MIS Quarterly*. 2022. Vol. 46. No. 1. pp. 223–251.
4. Kline S. J., Rosenberg N. An Overview of Innovation. *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. Washington: National Academies Press, 2021. P. 275–305.
5. Shamin R. V. Using Finite Automata in the Analysis of Economic Systems. *Zhurnal prikladnoy informatiki*. 2021. No. 4. pp. 22–30. (In Russ.).
6. Gulyaev V. V. Mathematical Modeling in Economics. *M.: Yurait, 2021*. 312 p. (In Russ.).
7. Chursin A. A. Competitiveness of Knowledge-Intensive Enterprises: Theory and Practice. *M.: Infra-M, 2020*. 302 p. (In Russ.).

Научная статья
УДК 004.413
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-59-68

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

*Петр Вениаминович Горшков^{1,4✉}, Игорь Александрович Бессмертный²,
Сергей Викторович Клименков³*

^{1,2,3}Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

⁴АО «Универсальная трейдинговая платформа»

^{1,4}vip@consultagency.ru ✉, <https://orcid.org/0009-0008-5173-7981>

²bessmertny@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6711-6399>

³serge.klimenkov@cs.ifmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5496-6765>

Язык статьи – русский

Аннотация: Нарастающая конкуренция среди разработчиков IT-проектов требует постоянно увеличивать скорость разработки. Это, в свою очередь, негативно сказывается на качестве и стоимости готового продукта. При этом снижение скорости и качества и повышение стоимости связаны не с низкой квалификацией отдельно взятого разработчика, а с плохой организацией процесса разработки. Предметом исследования являются наиболее популярные методологии и подходы и используемые в них методы и инструменты. Цель исследования заключается в систематизации знаний о современных методах и инструментах, определении их совместимости, оценки положительных и отрицательных сторон для понимания целесообразности по их комбинации, направленной на сокращение ограничений. В рамках исследования проведён обзор литературы для выявления методов и инструментов, используемых в наиболее популярных методологиях и подходах. Особое внимание уделено их применимости и ограничениям. Подготовлен и проведён опрос среди представителей отрасли с целью определения используемых на практике методов и инструментов. На основе анализа данных, полученных в процессе обзора литературных источников и опроса, были составлены рекомендации по выбору и использованию методов и инструментов для обеспечения применимости в большем количестве случаев и снижения ограничений.

Ключевые слова: автоматизация процессов, гибкие методологии, гибридные методологии, методологии разработки программного обеспечения, программная инженерия, традиционные методологии, Agile, DevOps, SCRUM

Ссылка для цитирования: Горшков П. В., Бессмертный И. А., Клименков С. В. Методы и алгоритмы управления процессами разработки программных продуктов // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 59–68. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-59-68>.

METHODS AND ALGORITHMS FOR MANAGING SOFTWARE DEVELOPMENT PROCESSES

Petr V. Gorshkov^{1,4✉}, Igor A. Bessmertny², Sergey V. Klimenkov³

^{1,2,3}ITMO University, Saint Petersburg, Russia

⁴Universal Trading Platform JSC, Saint Petersburg, Russia

^{1,4}vip@consultagency.ru ✉, <https://orcid.org/0009-0008-5173-7981>

²bessmertny@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6711-6399>

³serge.klimenkov@cs.ifmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5496-6765>

Article in Russian

Abstract: The growing competition among developers of IT projects requires constantly increasing the speed of development. This, in turn, negatively affects the quality and cost of the finished product. At the same time, the decrease in speed and quality and the increase in cost are not related to the low qualifications of an individual developer, but to the poor organization of the development process. The subject of the research is the most popular methodologies and approaches and the methods and tools used in them. The purpose of the study is to systematize knowledge about modern methods and tools, determine their compatibility, evaluate the positive and negative sides in order to understand the feasibility of their combination aimed at reducing limitations. The study conducted a literature review to identify the methods and tools used in the most popular methodologies and approaches. Special attention is paid to their applicability and limitations. A survey was prepared and conducted among industry representatives in order to identify the methods

and tools used in practice. Based on the analysis of data obtained during the review of literature sources and the survey, recommendations were made on the selection and use of methods and tools to ensure applicability in more cases and reduce restrictions.

Keywords: Agile, agile methodologies, DevOps, hybrid methodologies, software development methodologies, process automation, SCRUM, software engineering, traditional methodologies

For citation: Gorshkov P. V., Bessmertny I. A., Klimentov S. V. Methods and Algorithms for Managing Software Development Processes. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 59–68. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-59-68>.

Введение. Существенная конкуренция среди разработчиков IT-проектов привела к необходимости увеличивать скорость разработки. Зачастую следствием этого становится снижение качества и увеличение стоимости. С целью минимизировать негативные последствия придумывается всё больше подходов к разработке программных продуктов, что провоцирует новые проблемы. Наличие большого количества различных подходов говорит об ограниченности отдельно взятого, что приводит к трудностям в принятии решения о выборе оптимального подхода руководителем и менеджерами проектов. Рекомендации не всегда могут решить эту проблему, так как проект может не подходить под рекомендуемые критерии, или, наоборот, будут подходить сразу несколько подходов.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью повышать скорость разработки с сохранением качества и бюджета. Зачастую невозможность команд разработчиков соответствовать требованиям связана не с отсутствием необходимых компетенций у отдельно взятого члена команды, а с недостаточной организацией процессов в команде. Соответственно, правильный выбор подхода, методов и инструментов, позволяющий грамотно организовать рабочий процесс, является немаловажным фактором успеха разработки программного продукта.

Постановка проблемы и цели исследования. Исследовательская проблема заключается в выявлении методов и инструментов, используемых в современных подходах к управлению разработкой программных продуктов, для понимания их совместимости, применимости и наличия ограничений. Гипотеза, выдвигаемая в рамках исследования, основывается на предположении, что грамотная комбинация методов и инструментов может оказать положительное влияние на процесс

разработки и сократить ограничения для большинства IT-проектов.

Целью исследования является систематизация знаний о современных методах и инструментах, определение их совместимости, оценка положительных и отрицательных сторон и определение целесообразности дальнейшего исследования по их комбинации для сокращения ограничений. В рамках исследования решаются следующие задачи.

1) Анализ существующих подходов к управлению процессами разработки программных продуктов для выявления используемых методов и инструментов, их применимости и ограничений.

2) Исследование использования и комбинации тех или иных методов и инструментов в разработке IT-проектов на основе опроса.

3) Определение совместимости различных методов и инструментов на основе анализа.

Литературный обзор. Изучая различные источники, можно найти не одну сотню подходов, которые берут за основу традиционные или гибкие методы, а также их комбинации.

Согласно последним исследованиям, на данный момент среди традиционных методологий наиболее популярными являются Waterfall, Spiral, V-model [1] и RUP (Rational Unified Process) [2]. Хотя они все не новы, до сих пор активно используются. Это говорит о том, что предлагаемые ими практики в ряде случаев дают хороший результат и есть смысл их включить в исследование.

Но большинство IT-проектов реализуются с использованием гибких методологий. Наиболее популярными среди них являются SCRUM, XP (Extreme Programming), Kanban, Crystal, FDD (Feature-Driven Development), DSDM (Dynamic Systems Development Method) и TDD (Test-Driven Development) [3].

В таблице 1 представлены наиболее популярные подходы, их методы и инструменты, а также преимущества и ограничения.

Если один метод или инструмент встречается в нескольких методологиях, он не дублируется.

Таблица 1

Популярные подходы и методы управления процессами разработки программных продуктов

Источник: составлена авторами

Подходы	Методы и инструменты	Преимущества и ограничения
Waterfall	Каскадный жизненный цикл [4]	Эффективно для небольших и, наоборот, очень больших проектов с заранее определенными требованиями. Не подходит для больших проектов и если есть вероятность изменения требований.
Spiral	Спиральный жизненный цикл [1]	Простое и понятное управление, в результате каждого цикла выпускается новый функционал. Подходит для проектов, в которых на начальном этапе могут быть определены не все требования.
	Встроенный механизм управления рисками через механизм анализа и прототипирования [1]	Акцент на управлении рисками делает данный подход надежным. При этом повышаются затраты, что делает его неприемлемым для небольших проектов или если сильно ограничен бюджет.
V-model	Ранняя верификация и валидация через связь этапов проектирования и тестирования [5]	Позволяет выявлять проблемы на ранних этапах и повысить качество. Снижает применимость для краткосрочных проектов ввиду необходимости проверки на каждом этапе, повышает инвестиции на начальном этапе, так как сразу необходима группа тестирования.
Rational Unified Process (RUP)	Процесс разработки (итеративная модель с фазами и дисциплинами) [2]	Своевременная обратная связь, раннее выявление недочетов, предсказуемость и системность. Высокий порог входа и избыточность, перерасход ресурсов.
	Документирование и управление требованиями [2]	Прозрачность требований, поддержка сложных проектов и возможность внесения изменения. Высокая трудозатрата и снижение скорости.
SCRUM	Самоорганизующаяся скрам-команда [6]	Использование нестандартных ролей и самоорганизация. Стоит иметь в виду, что более привычная компоновка команды и иерархия так же может быть эффективна.
	Спринт и приращение продукта [7]	Итеративная разработка посредством спринтов, подчиняющихся строгим правилам. По окончании спринта должен быть представлен полностью рабочий функционал. Требуется достаточной квалификации разработчиков.
	Мероприятия – ритуалы (оценка пользовательских историй, ежедневные стендап-митинги, ретроспектива) [8]	Являются неотъемлемой частью методологии SCRUM, обеспечивая его функционирование. При недостаточной квалификации команды, отсутствии необходимости или формальном подходе могут занимать время, не принося пользы.

Продолжение таблицы 1

Подходы	Методы и инструменты	Преимущества и ограничения
	Бэклог продукта и диаграмма сгорания задач [7]	Пользовательские истории удобно писать заказчику. Для разработчика написанные заказчиком истории зачастую не несут всей необходимой информации.
Extreme Programming (XP)	Совместная разработка (парное программирование, общая собственность кода) [9]	Позволяет минимизировать ошибки и повысить скорость разработки. Может увеличить стоимость проекта, так как подразумеваются пары программистов одного уровня.
	Простота и малые итерации [9]	Позволяет достичь максимальной скорости разработки и оперативной обратной связи. Высокий риск проблем с архитектурой.
Kanban	Визуализация рабочего процесса [10]	Прозрачность, наглядность и понимание процесса. Не идеальна для долгосрочного планирования, требует зрелости команды.
	Управление потоком и ограничение незавершённой работы [11]	Распределение нагрузки и минимизация простоев. Требует дисциплинированности и могут быть трудности при недостаточной стабильности процессов.
Crystal	Инкрементальная разработка с фокусом на коммуникации [9]	Легкий старт для небольших проектов и быстрая обратная связь. Требует определённых навыков, не эффективна при распределённой команде.
	Приспособление процесса под размер и критичность проекта (цветовой код) [9]	Возможность выбрать используемые артефакты исходя из характеристик проекта. Необходимо обладать достаточными компетенциями.
Feature-Driven Development (FDD)	Разбиение проекта на функции с последующей реализацией через мини-водопад [9]	Прозрачность процесса, регулярные релизы и контроль качества на уровне функций. Неэффективно для небольших проектов, могут быть проблемы с декомпозицией и архитектурой.
Dynamic Systems Development Method (DSDM)	Корректирование объёмов функциональности исходя из ресурсов и времени [12]	Хороший контроль над сроками и бюджетом, высокая адаптивность и учет бизнес-ценностей. Требует постоянного взаимодействия с заказчиком, может усложнять управление зависимостями.
Test-Driven Development (TDD)	Разработка через тестирование [12]	Хорошее качество кода с ранним выявлением ошибок и минимумом дефектов. Проблемы с документацией и необходимы определённые навыки.

Так же можно добавить такие подходы как Behavior-Driven Development (BDD) – понятный бизнес-язык тестов, Disciplined Agile Delivery (DAD) – DevOps и масштабируемость, Lean Software Development (LSD) – фокус на поток создания ценности, Open Source Software Development (OSSD) – открытая разработка [13].

Есть и другие подходы, например, Microsoft Solutions Framework (MSF), Rapid Application Development (RAD), Agile Project Management (APM), Agile Unified Process (AUP), Open Unified Process (OpenUP), Personal Software Process & Team Software Process (PSP&TSP), Adaptive Software Development (ASD), ICONIX Process (ICONIX), Agile

Modeling (AM), Architecture-Driven Modernization (ADM), Participatory Process (PP), Information Systems Development (ISD), Adaptive Software Process (ASP) и Design-Driven Development (D3) [13], но они в меньшей степени

предлагают принципиально новые методы. Отдельное внимание стоит уделить DevOps, так как он содержит в себе необходимые для современной разработки методы и инструменты (таблица 2).

Таблица 2

Методы DevOps

Источник: составлено авторами

Методы и инструменты	Описание
CI/CD (Continuous Integration / Continuous Deployment) [14]	Автоматизация сборки, тестирования и развертывания.
Автоматизация тестирования [15]	Используются различные инструменты, и специализированные DevOps-тестовые фреймворки для обеспечения качества.
Контейнеризация и оркестрация [16]	Инструменты для упаковки приложений и управления их развертыванием в распределённой среде.
Мониторинг и логирование [16]	Инструменты для мониторинга и анализа состояния системы и приложений.
Управление конфигурациями и инфраструктурой как код [16]	Позволяет автоматизировать управление инфраструктурой и развертыванием.
Сентимент-анализ и метрики [15]	Внедрение инструментов для анализа тональности коммуникаций, KPI, метрик зрелости и прогресса проекта.
Dashboards и отчёты [15]	Различные BI-панели и дашборды, интеграция с DevOps pipeline для визуализации прогресса, качества и зрелости проекта.

Компоновка методов и инструментов в рамках отдельно взятого подхода позволяет сделать его более адаптированным под конкретные ситуации, но снижает универсальность, что приводит к такому большому количеству различных подходов «на все случаи жизни» и провоцирует связанные с этим трудности. Различные надстройки, как бы делающие подход более универсальным, зачастую его усложняют, но не дают должного результата.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели и решения задач был проведен обзор литературы для выявления методов и инструментов, используемых в наиболее популярных подходах к управлению IT-проектами. Источники подбирались по ключевым словам и запросам в базах данных Scopus, Web of Science и Google Scholar исходя из авторитетности издания,

признанности автора, актуальности ссылок, содержания статьи и даты публикации.

Далее был подготовлен и проведён опрос, чтобы понять, какие методы и инструменты используются, как они между собой комбинируются, и к каким это приводит результатам. Опрос состоял из 13 вопросов с готовыми вариантами ответов, а также текстовым полем, куда можно было внести свои варианты или добавить комментарии. В опросе приняли участие 102 человека, среди которых – 64 разработчика, 8 тестировщиков, 7 руководителей проекта, 5 DevOps-инженеров, по 4 архитектора и аналитика и другие, с опытом работы 1–3 года – 27 человек, 3–5 лет – 36 человек, 5–10 лет – 31 человек, более 10 лет – 2 человека и менее 1 года – 6 человек. Опрос включал в себя следующие вопросы:

- 1) Какова Ваша роль в IT-проекте?
- 2) Какой у Вас опыт работы в сфере IT?

- 3) Какую методологию разработки Вы используете в качестве основной в проектах?
- 4) Насколько полно Вы реализуете выбранную основную методологию в проектах?
- 5) Какие другие методологии Вы используете в проектах дополнительно к основной?
- 6) Какие методы разработки Вы применяете в своих проектах?
- 7) Какие инструменты DevOps Вы используете в своих проектах?
- 8) На Ваш взгляд, чего не хватает в используемых Вами методологиях для повышения эффективности разработки?
- 9) Какие методы или инструменты, на Ваш взгляд, являются избыточными или усложняющими процесс разработки?
- 10) Как часто Вы совмещаете методы и инструменты из разных методологий в одном проекте?
- 11) Насколько Вы удовлетворены процессом разработки в своих проектах?

12) Насколько Вы удовлетворены качеством и результатами своих проектов?

13) Какие основные проблемы Вы видите при использовании методологий разработки в своих проектах?

На основе анализа данных, полученных из литературного обзора и опроса, была определена совместимость различных методов и инструментов.

Результаты исследования. На основе анализа выбранных источников были выявлены методы и инструменты, используемые в наиболее популярных подходах к разработке программных продуктов. Далее был проведен опрос среди представителей IT-отрасли. Наиболее популярные подходы, используемые в качестве основного, представлены на рисунке 1, полнота реализации выбранного основного подхода – на рисунке 2.

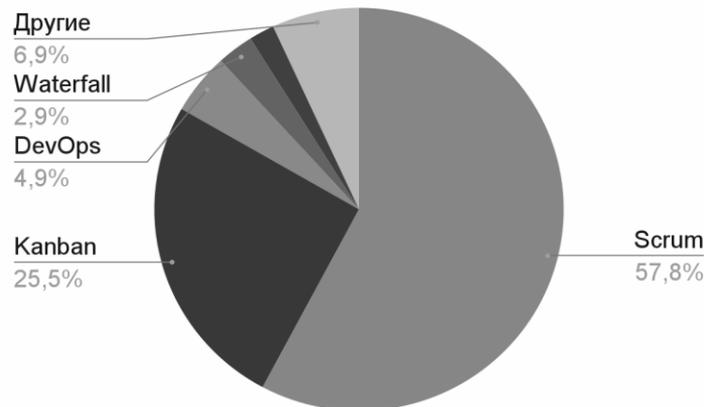


Рисунок 1 – Основной подход
Источник: составлен авторами

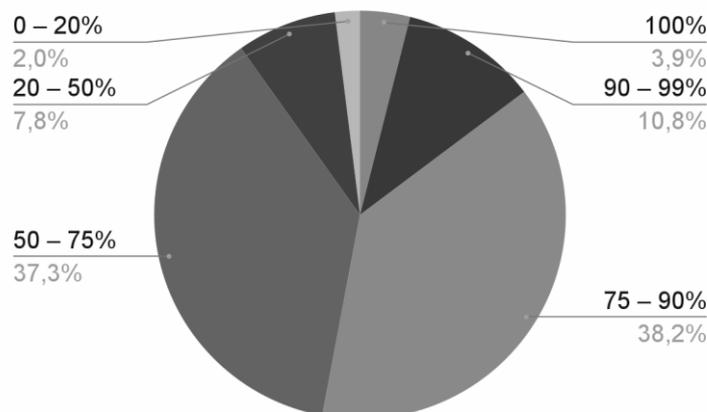


Рисунок 2 – Полнота реализации основного подхода
Источник: составлен авторами

При этом 47% респондентов отметили, что совмещают методы и инструменты из разных подходов в одном проекте более, чем в 50% случаев, 26% отметили, что во всех проектах, 15% – иногда (реже, чем в 25% случаев) и 12% – редко или никогда.

В дополнение к основному подходу чаще всего берут элементы из подходов, перечисленных на рисунке 3. При этом в своих проектах респонденты наиболее часто используют методы и инструменты, указанные на рисунке 4.

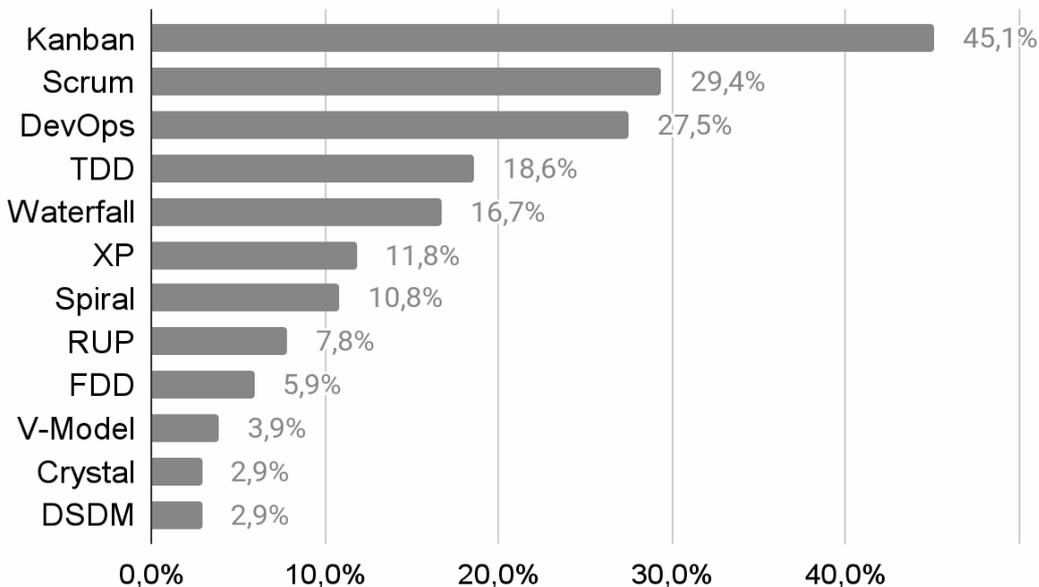


Рисунок 3 – Дополнительные подходы

Источник: составлен авторами



Рисунок 4 – Методы и инструменты

Источник: составлен авторами

Различные DevOps инструменты используются более чем 78% команд разработчиков, наиболее популярные из которых – Docker (78%) и GitLab CI (73%). Инструменты для мониторинга, логирования и отчетности используются минимум в 62% случаев.

Обсуждение. Хотя есть множество различных гибких подходов, 7% респондентов отметили, что за основу в их командах используются традиционные методологии, а элементы традиционных методологий используют более 18% респондентов. Это говорит о том, что классические подходы по-прежнему остаются актуальными.

Большинство команд разработчиков используют гибкие подходы, при этом все равно отмечаются сложные механизмы контроля качества (35%), сложные процессы управления требованиями (28%), избыточное документирование (23%), чрезмерно детализированные тестовые сценарии (17%) и жесткая архитектурная модель (14%), что противоречит основным принципам Agile. А некоторые респонденты, наоборот, жалуются на избыточную гибкость (23%), автоматизацию (9%), и «ритуалы ради ритуалов».

Хотя больше половины респондентов отметили, что используют различные инструменты для мониторинга, логирования и отчетности, отвечая на вопрос, что является избыточным и мешает разработке, 25% отметили, что слишком много Dashboards и отчетов.

Опрос показал, что в большинстве случаев используются гибридные подходы, при этом далеко не всегда из каждого отдельно взятого подхода берется только то, что способствует лучшему опыту, подтягиваются так же и ограничения. В то же время попытки строго следовать определенному выбранному подходу приводят к излишнему вниманию на внешних атрибутах, которые зачастую мешают разработке.

Выводы и рекомендации. На основании проведенного исследования сделан вывод о том, что в реальной практике практически не встречается методологий в чистом виде, и в большинстве случаев каждая команда подстраивает под себя одну из методологий (почти всегда это одна из наиболее популярных

методологий, самой популярной является Scrum), добавляя туда элементы другой (других) методологии (чаще всего Kanban-доску).

Согласно результатам опроса нет особых ограничений между комбинациями различных методов и практик, есть различные примеры комбинаций, при этом удовлетворенность процессом разработки, а также качеством и результатами в большинстве случаев (более 61%) оценена на 4 балла из 5. Некоторые методы и инструменты (например, CI/CD, контейнеризация, парное программирование, автоматическое тестирование) стали фактически универсальными и применяются вне зависимости от используемой методологии.

При комбинации методов и практик из разных подходов есть смысл адаптировать их к основной используемой методологии, чтобы не добавлять сопутствующие ограничения. Также, особенно при использовании гибких подходов, необходимо определить, какие артефакты и ритуалы будут способствовать повышению эффективности разработки, а какие, наоборот, будут занимать время, особо не принося пользы. Рекомендуется убрать излишнюю документацию, перегруженные процессы согласования требований и дублирующие отчеты.

Исходя из всего вышесказанного можно сформировать следующие рекомендации.

1) Выбираемый подход необходимо адаптировать под проект.

2) Сокращать ненужную бюрократию, оставляя (или добавляя) необходимую документацию.

3) Усиливать слабые места методами и инструментами из других подходов, но стараться не добавлять сопутствующие ограничения.

4) Осуществлять выбор, опираясь на вводные проекта, так как не всегда популярность метода говорит о его пользе в конкретной ситуации.

Дальнейшее исследование будет посвящено определению комбинации конкретных методов и практик в рамках одного подхода для минимизации ограничений и повышению применимости в различных ситуациях.

Список источников

1. Akinsola J.E.T., Ogunbanwo A.S., Okesola O.J., Odun-Ayo I.J., Ayegbusi F.D., Adebisi A.A. Comparative Analysis of Software Development Life Cycle Models (SDLC) // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham. – 2020. – Т. 1224. – С. 310–322. – DOI: 10.1007/978-3-030-51965-0_27. – Текст: электронный. (In Eng.).
2. Shafiee S., Wautelet Y., Hvam L., Sandrin E., Forza C. Scrum Versus Rational Unified Process in Facing the Main Challenges of Product Configuration Systems Development // *Journal of Systems and Software*. – 2020. – Т. 170. – DOI: 10.1016/j.jss.2020.110732. – Текст: электронный. (In Eng.).
3. Ibrahim M., Aftab S., Bakhtawar B., Ahmad M., Iqbal A., Aziz N., Javeid M., Ihnaini B. Exploring the Agile Family: A Survey // *International Journal of Computer Science and Network Security*. – 2020. – Т. 20 (10). – С. 163–179. – DOI: 10.22937/IJCSNS.2020.20.10.22. – Текст: электронный. (In Eng.).
4. Saravanos A., Curinga M. Simulating the Software Development Lifecycle: The Waterfall Model // *Applied System Innovation*. – 2023. – Т. 6 (6). – С. 108. – DOI: 10.3390/asi6060108. – Текст: электронный. (In Eng.).
5. Graessler I., Hentze J. The New V-Model of VDI 2206 and its Validation // *Automatisierungstechnik*. – 2020. – Т. 68 (5). – С. 312–324. – DOI: 10.1515/auto-2020-0015. – Текст: электронный. (In Eng.).
6. Žužek T., Kušar J., Rihar L., Berlec T. Agile-Concurrent hybrid: A Framework for Concurrent Product Development Using Scrum // *Concurrent Engineering: Research and Applications*. – 2020. – Т. 28 (1). – С. 1–10. – DOI: 10.1177/1063293X20958541. – Текст: электронный. (In Eng.).
7. Grebic B., Stojanović A. Application of the Scrum Framework on Projects in IT Sector // *European Project Management Journal*. – 2021. – Т. 11 (2). – С. 37–46. – DOI: 10.18485/epmj.2021.11.2.4. – Текст: электронный. (In Eng.).
8. Morandini M., Coletti T.A., Oliveira E., Corrêa P.L.P. Considerations About the Efficiency and Sufficiency of the Utilization of the Scrum Methodology: A Survey for Analyzing Results for Development Teams // *Computer Science Review*. – 2021. – Т. 39. – DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100314. – Текст: электронный. (In Eng.).
9. Saeedi K., Visvizi A. Software Development Methodologies, HEIs, and the Digital Economy // *Educ. Sci.* – 2021. – Т. 11 (2). – С. 73. – DOI: 10.3390/educsci11020073. – Текст: электронный. (In Eng.).
10. Orlov E. V., Rogulenko T. M., Smolyakov O. M., Oshovskaya N. V., Zvorykina T. I., Rostanets V. G., Dyundik E. P. Comparative Analysis of the Use of Kanban and Scrum Methodologies in IT Projects // *Universal Journal of Accounting and Finance*. –

References

1. Akinsola J.E.T., Ogunbanwo A.S., Okesola O.J., Odun-Ayo I.J., Ayegbusi F.D., Adebisi A.A. Comparative Analysis of Software Development Life Cycle Models (SDLC). *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham. 2020. Vol. 1224. pp. 310–322. DOI: 10.1007/978-3-030-51965-0_27.
2. Shafiee S., Wautelet Y., Hvam L., Sandrin E., Forza C. Scrum Versus Rational Unified Process in Facing the Main Challenges of Product Configuration Systems Development. *Journal of Systems and Software*. 2020. Vol. 170. DOI: 10.1016/j.jss.2020.110732.
3. Ibrahim M., Aftab S., Bakhtawar B., Ahmad M., Iqbal A., Aziz N., Javeid M., Ihnaini B. Exploring the Agile Family: A Survey. *International Journal of Computer Science and Network Security*. 2020. Vol. 20 (10). pp. 163–179. DOI: 10.22937/IJCSNS.2020.20.10.22.
4. Saravanos A., Curinga M. Simulating the Software Development Lifecycle: The Waterfall Model. *Applied System Innovation*. 2023. Vol. 6 (6). P. 108. DOI: 10.3390/asi6060108.
5. Graessler I., Hentze J. The New V-Model of VDI 2206 and its Validation. *Automatisierungstechnik*. 2020. Vol. 68 (5). pp. 312–324. DOI: 10.1515/auto-2020-0015.
6. Žužek T., Kušar J., Rihar L., Berlec T. Agile-Concurrent hybrid: A Framework for Concurrent Product Development Using Scrum. *Concurrent Engineering: Research and Applications*. 2020. Vol. 28 (1). pp. 1–10. DOI: 10.1177/1063293X20958541.
7. Grebic B., Stojanović A. Application of the Scrum Framework on Projects in IT Sector. *European Project Management Journal*. 2021. Vol. 11 (2). pp. 37–46. DOI: 10.18485/epmj.2021.11.2.4.
8. Morandini M., Coletti T.A., Oliveira E., Corrêa P.L.P. Considerations About the Efficiency and Sufficiency of the Utilization of the Scrum Methodology: A Survey for Analyzing Results for Development Teams. *Computer Science Review*. 2021. Vol. 39. DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100314.
9. Saeedi K., Visvizi A. Software Development Methodologies, HEIs, and the Digital Economy. *Educ. Sci*. 2021. Vol. 11 (2). P. 73. DOI: 10.3390/educsci11020073.
10. Orlov E. V., Rogulenko T. M., Smolyakov O. M., Oshovskaya N. V., Zvorykina T. I., Rostanets V. G., Dyundik E. P. Comparative Analysis of the Use of Kanban and Scrum Methodologies in IT Projects. *Universal Journal of Accounting and Finance*. 2021.

2021. – Т. 9 (4). – С. 693–700. – DOI: 10.13189/ujaf.2021.090415. – Текст: электронный. (In Eng.).
11. Hamzah A., Mazni O., Rohaida R. The State of the Art of Agile Kanban Method: Challenges and Opportunities // *Independent Journal of Management & Production*. – 2021. – Т. 12 (8). – С. 2535–2550. – DOI: 10.14807/ijmp.v12i8.1482. – Текст: электронный. (In Eng.).
12. Alsaqqa S., Sawalha S., Abdel-Nabi H. Agile Software Development: Methodologies and Trends // *International Journal of Interactive Mobile Technologies*. – 2020. – Т. 14 (11). – С. 246–270. – DOI: 10.3991/ijim.v14i11.13269. – Текст: электронный. (In Eng.).
13. Necmettin O., Busra O.K., Mehmet G. Towards a Better Understanding of Agile Mindset by Using Principles of Agile Methods // *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. – 2020. – Т. 21. – С. 721–730. – DOI: 10.15439/2020F46. – Текст: электронный. (In Eng.).
14. Jayakody J.A.V.M.K., Wijayanayake J. Challenges for Adopting Devops in Information Technology Projects // *International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE), Colombo, Sri Lanka*. – 2021. – С. 203–210. – DOI: 10.1109/SCSE53661.2021.9568348. – Текст: электронный. (In Eng.).
15. Angara J., Prasad S., Gutta S. DevOps Project Management Tools for Sprint Planning, Estimation and Execution Maturity // *Cybernetics and Information Technologies*. – 2020. – Т. 20 (2). – С. 79–92. – DOI: 10.2478/cait-2020-0018. – Текст: электронный. (In Eng.).
16. Akbar M.A., Khan A.A., Islam N., Mahmood S. DevOps Project Management Success Factors: A Decision-Making Framework // *Softw: Pract Exper*. 2024. – Т. 54 (2). – С. 257–280. – DOI: 10.1002/spe.3269. – Текст: электронный. (In Eng.).
- Vol. 9 (4). pp. 693–700. DOI: 10.13189/ujaf.2021.090415.
11. Hamzah A., Mazni O., Rohaida R. The State of the Art of Agile Kanban Method: Challenges and Opportunities. *Independent Journal of Management & Production*. 2021. Vol. 12 (8). pp. 2535–2550. DOI: 10.14807/ijmp.v12i8.1482.
12. Alsaqqa S., Sawalha S., Abdel-Nabi H. Agile Software Development: Methodologies and Trends. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*. 2020. Vol. 14(11). pp. 246–270. DOI: 10.3991/ijim.v14i11.13269.
13. Necmettin O., Busra O.K., Mehmet G. Towards a Better Understanding of Agile Mindset by Using Principles of Agile Methods. *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. 2020. Vol. 21, pp. 721–730. DOI: 10.15439/2020F46.
14. Jayakody J.A.V.M.K., Wijayanayake J. Challenges for Adopting Devops in Information Technology Projects. *International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE), Colombo, Sri Lanka*. 2021. pp. 203–210. DOI: 10.1109/SCSE53661.2021.9568348.
15. Angara J., Prasad S., Gutta S. DevOps Project Management Tools for Sprint Planning, Estimation and Execution Maturity. *Cybernetics and Information Technologies*. 2020. Vol. 20 (2). pp. 79–92. DOI: 10.2478/cait-2020-0018.
16. Akbar M.A., Khan A.A., Islam N., Mahmood S. DevOps Project Management Success Factors: A Decision-Making Framework. *Softw: Pract Exper*. 2024. Vol. 54 (2). pp. 257–280. DOI: 10.1002/spe.3269.

Научная статья
УДК 004.94
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-69-82

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ МАРШРУТИЗАЦИИ ОБРАЩЕНИЙ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНОМ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Александр Сергеевич Антонов^{1✉}, Галина Владимировна Горнова²

^{1,2}Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
¹asantonov@itmo.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-9004-8064>
²gornova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6615-0701>
Язык статьи – русский

Аннотация: В исследовании разработан метод моделирования нагрузки системы управления взаимоотношений с жителями региона на примере Центра управления регионом. Такая модель позволяет выявить критические условия для функционирования системы. Это важно для разработки решений, направленных на предотвращение отказов системы, особенно в условиях роста объёма обращений. Для построения такой модели были изучены методы работы с обратной связью и определены системные свойства системы обработки обращений. Для создания модели, отображающей эти свойства и процесс управления, в работе был использован метод дискретно-событийного моделирования. Он подходит для отображения динамики в системах массового обслуживания, позволяет учесть многоступенчатый процесс со случайными событиями, а также тестировать критерии эффективности в различных сценариях. В экспериментальной части работы были использованы сведения о нормативной и фактической скорости маршрутизации обращений, а также несколько наборов данных, прошедших через систему ЦУР. В модели были заданы процессы для этапов работы с обращениями. На основе нормативных требований и фактических данных были сформулированы временные задержки для каждого этапа обработки обращений и произведено моделирование потока обращений в четырёх сценариях с различной нагрузкой и условиями. Результаты показали, что в текущей организационной структуре и с существующими методами маршрутизации в системе присутствует риск нарушения критериев эффективности.

Ключевые слова: данные социальных сетей, дискретно-событийное моделирование, интеллектуальная маршрутизация, системы массового обслуживания, электронное правительство

Ссылка для цитирования: Антонов А. С., Горнова Г. В. Анализ устойчивости системы маршрутизации обращений Центра управления регионом с помощью метода дискретно-событийного моделирования // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 69–82. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-69-82>.

STABILITY ANALYSIS OF A REGIONAL MANAGEMENT CENTER'S REQUEST-ROUTING SYSTEM USING DISCRETE-EVENT SIMULATION

Aleksandr S. Antonov^{1✉}, Galina V. Gornova²

^{1,2}ITMO University, Saint Petersburg, Russia
¹asantonov@itmo.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0001-9004-8064>
²gornova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6615-0701>
Article in Russian

Abstract: This study develops a modeling approach for the workload of a regional citizen relationship management system, exemplified by a Regional Management Center (RMC). The model enables identification of critical operating conditions for the system, which is essential for devising measures to prevent failures, particularly under rising request volumes. To construct the model, we examined feedback mechanisms and characterized the system-level properties of the request-processing pipeline. To represent these properties and the management process, we employed discrete-event simulation. This approach is well suited to capturing the dynamics of queueing systems, accommodates multi-stage processes with stochastic events, and allows evaluation of performance criteria across diverse scenarios. The experimental component draws on both prescribed (normative) and observed routing rates, as well as several datasets that have passed through the RMC. The model instantiates processes for each stage of request handling. Based on regulatory requirements and empirical data, we specified stage-wise service-time delays and simulated request flows under four scenarios with varying loads and conditions. The results indicate that, given the current organizational structure and routing methods, the system is at risk of violating established performance targets.

Keywords: discrete-event simulation, e-government, intelligent routing, queueing systems, social network data

For citation Antonov A. S., Gornova G. V. Stability Analysis of a Regional Management Center's Request-Routing System Using Discrete-Event Simulation. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 69–82. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-69-82>.

Введение. Подход к организации управления в организационных системах управления регионом в Российской Федерации и за рубежом существенно изменился за последние 10 лет. Взаимодействие граждан и управляющей системы под влиянием концепции «нового государственного управления» переняло ряд практик коммерческих организационных систем. В частности, для улучшения качества жизни в регионе начал применяться проблемно-ориентированный подход, а получение информации об объекте управления стало осуществляться через ряд современных каналов связи, включающих региональные голосовые и цифровые системы обратной связи (например, телефонные линии и сервисы электронного участия), централизованную платформу обратной связи, социальные сети. Для обеспечения маршрутизации обращений и анализа выраженных в них проблем в 2020 году в России были сформированы Центры управления регионом (ЦУР).

ЦУР – это подсистема организационной системы управления регионом, которая обеспечивает маршрутизацию поступающих обращений через каналы связи с помощью централизации процессов сбора, категоризации и анализа комплексной картины проблем на основе предварительно структурированных обращений граждан с последующей подготовкой рекомендаций для управленческих воздействий на уровне руководства региона.

В результате увеличения доли современных каналов связи в общем потоке обращений их ежедневный объем значительно увеличился. В частности, в Санкт-Петербурге с 2016 года (периода начала активного использования электронных обращений) рост обращений через каналы социальных сетей, цифровых и голосовых систем обратной связи и платформу обратной связи (обращения в социальной сети ВК, сервисе «Наш Санкт-Петербург», горячей телефонной линии 004 и обращения через портал Госуслуги соответственно) вырос в девять раз, что показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – График роста объема обращений по годам
Источник: составлен автором

Также с переносом практики формирования ЦУР из Московской области на остальные регионы Российской Федерации происходит изменение подхода к управлению городской средой в части принятия решений от поочередной обработки индивидуальных обращений к управляющим воздействиям на основе формируемой картины комплексных проблем (ККП). На основе данных, получаемых в результате анализа ККП, осуществляется формирование рекомендаций для приоритетов работы органов власти.

Качественное и своевременное решение социально значимых проблем в результате зависит от эффективности маршрутизации и анализа обращений, включающих в себя структурирование поступающих сигналов, определение их контекста и формирования комплексной картины проблем, на основе которой разрабатываются дорожные карты по их решению. Для обеспечения этой эффективности с помощью разработки новых методов интеллектуальной маршрутизации обращений граждан необходимо выполнить моделирование целевого процесса с учетом его параметров эффективности и предельной нагрузки в различных условиях.

Целью работы является выполнение анализа устойчивости системы маршрутизации обращений Центра управления регионом с помощью метода дискретно-событийного моделирования. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи.

1) Проанализировать организационную систему ЦУР.

2) Определить параметры эффективности маршрутизации обращений.

3) Проанализировать существующие методы моделирования процессов в системах управления регионом и системах массового обслуживания.

4) Разработать модель маршрутизации обращений.

5) Выполнить апробацию в ряде сценариев с различными входными параметрами и условиями функционирования системы.

6) Оценить устойчивость системы маршрутизации обращений и предложить методы ее улучшения.

В работе выдвигаются две гипотезы:

1) Увеличение нагрузки системы сбора и обработки обращений в 1.5 раза приведет к сбою в работе системы.

2) Централизация существующих каналов связи в одной системе сбора и обработки обращений приведет к сбою в работе системы.

Литературный обзор и анализ предметной области. Для анализа организационной системы ЦУР и процесса работы с обращениями необходимо задать концептуальные рамки, в которых эта система развивалась.

Проблемно ориентированное государственное управление – это подход к планированию и внедрению управленческих воздействий, основанный на необходимости адаптации органов власти и других организаций к социально значимым проблемам, которые необходимо решить [1]. Проблема как социальный конструкт является частичным результатом человеческого восприятия. По этой причине возникновение социально значимых проблем сложно предугадать, и, как результат, сложно заранее сформировать структуру и процессы управления таким образом, чтобы предотвратить их появление.

Решение таких проблем требует изменений в функционировании органов власти. Крайне важными задачами в этом процессе являются выявление и анализ проблем, а также изучение их развития во времени. Для эффективного решения необходимо формировать гипотезы, основанные на собираемых данных, проверять их и изменять процессы функционирования и структуру управления, чтобы корректировать дисфункциональные практики и усиливать значимость наиболее функциональных.

В парадигме проблемно ориентированного государственного управления ключевым аспектом является способность организации к последовательным изменениям своих процессов для решения возникающих социально важных проблем. Это осуществляется посредством формирования теории изменений, основанной на данных, а не на использовании набора данных как такового. Способность к последовательным изменениям опирается на взаимодействие между органами власти и обществом, а также на сбор и анализ данных о возникающих проблемах. Реализация этих способностей в практической деятельности городских администраций осуществляется через различные каналы связи, которые ускоряют и облегчают взаимодействие по

вопросам проблем между гражданами и органами власти.

С начала XXI века получили развитие горячие телефонные линии, которые с процессом цифровизации государственного управления были объединены или дополнены веб-сервисами и мобильными приложениями электронного участия. Эти технологии предоставили возможность сообщать о проблемах через Интернет. Подобные горячие телефонные линии и последующие цифровые методы взаимодействия населения и органов власти находятся на пересечении классического подхода к этому процессу, представленного в концепции New Public Administration [2, 3], и подхода, где граждане воспринимаются как пользователи инфраструктуры или потребители услуг, как это описано в концепции New Public Management [4, 5]. Взаимодействие с гражданами происходит по индивидуальным вопросам, а приоритетной задачей для органов власти является обеспечение наилучшего качества предоставляемых услуг и удовлетворение потребностей клиента.

Эволюция подходов к взаимодействию улучшила способность выявлять и решать социально значимые проблемы. Однако изменение процессов управления городской средой для решения каждой появляющейся проблемы может приводить к накоплению ошибок и дестабилизации организационной системы. Для поддержания последовательности изменений необходима разработка и проверка теорий изменений, что осуществляется с помощью анализа данных. Переход к цифровизации взаимодействия органов власти и граждан привел к накоплению больших объемов данных, которые зачастую являются текстовыми или аудиоданными и слабо структурированными [6]. Это затрудняет корректную маршрутизацию обращений по исполнителям, а также усложняет формирование комплексной картины проблем (ККП), объединяющей набор проблем по ряду характеристик. Подобные сущности предоставляют необходимую структурированную информацию для формулирования и проверки теорий изменений в государственных управленческих системах.

В практической деятельности органов власти задачи обеспечения взаимодействия между органами власти, другими

организациями и обществом по вопросам решения проблем, а также сбора, обработки и анализа данных о проблемах реализуются в организационных системах в составе общей системы управления городской средой. Эти системы поддерживают деятельность каналов связи, таких как горячие линии и сервисы электронного участия, соответствующие концепции New Public Management. Примеры таких систем включают американскую горячую линию и сервис электронного участия 311 [7], китайский 12345 и другие.

С 2012–2014 годов в различных субъектах Российской Федерации начали формироваться горячие линии и сервисы электронного участия, такие как «Добродел» [8] и «Наш Санкт-Петербург» [9]. Портал «Наш Санкт-Петербург», созданный в 2014 году, дополняет единую горячую линию по вопросам городского благоустройства 004 мобильным приложением и веб-сервисом. Эффективность его работы оценивается по двум критериям: коэффициент времени исполнения и коэффициент исполнительской дисциплины, отображающим, насколько быстро была решена проблема жителя города и были ли соблюдены сроки. Житель может также обозначить свою удовлетворенность подтверждением или обжалованием решения проблемы.

Схожий подход был использован в организационной системе данного исследования – центре управления регионом. Пилотный Центр управления регионом (ЦУР) был введен в действие в Московской области в 2019 году. В 2020 году организация «Диалог. Регионы» разработала типовую подсистему поддержки процессов проблемно-ориентированного управления, впоследствии дополненную аналогичным Центром управления муниципальным образованием. Правила создания и функционирования ЦУР [10] были рекомендованы для применения во всех регионах России. С переносом практики формирования ЦУР из Московской области на остальные регионы происходит изменение подхода к управлению городской средой, переходя от поочередной обработки индивидуальных обращений к управленческим воздействиям на основе анализа комплексных проблем. На основе данных, получаемых в результате анализа ККП, формируются рекомендации для приоритетов работы органов власти.

По Положению о Центре управления регионом в Санкт-Петербурге [11], ЦУР занимается координацией мониторинга и обработки обращений о социально значимых проблемах, которые поступают в порядке, указанном в Федеральном законе N 59-ФЗ «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации» [12] (в письменном виде и в результате личных посещений), а также через современные каналы связи (официальные группы органов власти и губернатора в социальной сети ВКонтакте, платформу обратной связи, интегрированную в портал Госуслуги).

Для целей координации мониторинга и обработки обращений ЦУР выполняет следующие задачи.

- 1) Сбор обращений из различных каналов связи.
- 2) Структурирование и формализация обращений.
- 3) Координация процесса обработки обращений и подготовки ответов органами власти.
- 4) Мониторинг процесса решения проблем.
- 5) Формирование комплексных картин проблем и выявление проблемных точек.
- 6) Прогнозирование эскалации ситуаций.
- 7) Подготовка рекомендательных материалов и участие в разработке дорожных карт по решению сложных проблем.

Схема ЦУР в структуре управления городом представлена на рисунке 2.

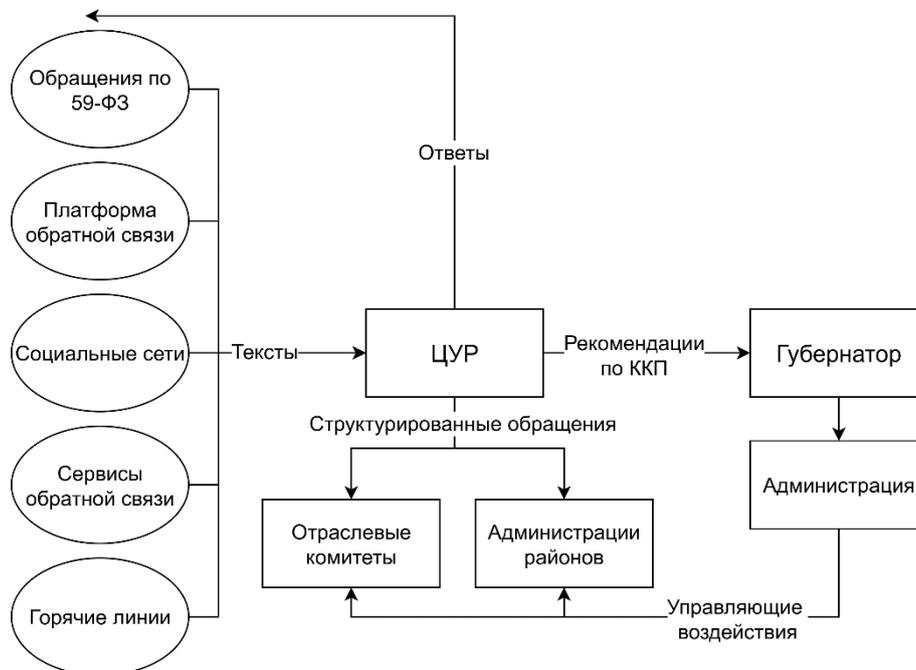


Рисунок 2 – Структура управления городом со включением ЦУР

Источник: составлен автором

Из Правил предоставления субсидий для обеспечения деятельности ЦУР [10] можно выделить ряд целевых показателей, по которым в том числе определяется эффективность работы системы управления регионом в части работы с социально значимыми проблемами. В эти показатели входят:

- доля обращений, проблемы которых были решены с применением механизмов ускоренного решения;
- доля обращений, которые были обработаны с помощью системы автоматизированной доставки обращения до конечного исполнителя;

- доля обращений, по которым реализованы мероприятия планов («дорожных карт») по устранению причин таких обращений и сообщений.

По Федеральному закону № 59-ФЗ [12] предельным сроком, за который необходимо рассмотреть обращение и принять по нему решение, является период в 30 рабочих дней. Регламент работы с обращениями граждан Платформы обратной связи [13] также определяет механизм ускоренного решения проблемы «фаст-трек», в рамках которого весь процесс от модерации до исполнения и утверждения решения должен занимать не больше

10 дней, из которых на этапы модерации и координации, за которые отвечает ЦУР, должно уходить не больше 12 часов каждый.

Также отдельные требования к исполнителям, отвечающим за один из этапов обработки обращений, устанавливаются региональными нормативными документами. В частности, это могут быть следующие параметры: количество инцидентов (обращений) на 1000 жителей муниципального образования или на орган исполнительной власти; среднее время отработки обращений; доля просроченных инцидентов в отчетном периоде; качество ответов (выраженное в проценте возвратов на доработку со стороны операторов).

Еще одним параметром, определяемом на региональном уровне, является процедура обработки обращений. В некоторых ЦУР, в частности, в Кировской области [14], существует требование о мониторинге новых, повторных, просроченных и отложенных обращений граждан. На основе этого требования можно сделать вывод, что каждое сообщение, поступившее в систему, должно быть рассмотрено. В условиях роста объема обращений важным параметром является рост

«бэклога» – набора обращений, которые не удалось рассмотреть вовремя.

В результате анализа нормативной документации можно определить следующие параметры эффективности: предельный срок рассмотрения обращения в 30 дней от поступления; срок по механизму «фаст-трек» в 10 дней с 12 часами на этап маршрутизации; объем «бэклога». Они будут оцениваться при симуляциях в разработанной модели.

Методы и материалы исследования. На основе критериев эффективности, определенных из нормативной документации, а также схожести подхода, обозначенного в концепции New Public Management, можно сделать вывод, что методы, направленные на моделирование процессов работы с обращениями в коммерческом секторе, могут быть применены для этих же целей в государственном секторе.

При этом процесс маршрутизации обращений в сфере деятельности ЦУР имеет свою значимую специфику. На основе анализа нормативной документации можно выявить ряд параметров данного процесса, который отображен в таблице 1.

Таблица 1

Таблица параметров процесса маршрутизации обращений

Источник: составлена автором

Элемент процесса маршрутизации обращений	Описание элемента	Приблизительные значения
Входящий поток	Дискретный массовый поток с переменной интенсивностью и потенциальной вложенностью обращений	От 150 до 2000 сообщений в день по данным ЦУР Санкт-Петербурга, с выбросами. Можно открыть обращение повторно или сделать уточнение.
Единица потока (обращение)	Имеет пространственные, временные характеристики, а также минимум два вида семантических (намерение и функция)	Пространственные: адрес; Временные: дата; Намерение: вопрос или жалоба; Функция: отрасль хозяйства (ЖКХ, Транспорт, Здравоохранение и др.)
Участники процесса	Многоэтапная система обработки. Включает в себя операторов со специализацией на группе функциональных компетенций и исполнителей (ИОГВ или ОМС/администрации районов). Исполнители могут вернуть обращение, если оно не в их зоне ответственности	От 6 до 12 операторов, в зависимости от ЦУР

Продолжение таблицы 1

Элемент процесса маршрутизации обращений	Описание элемента	Приблизительные значения
Ограничения	Обращение не может быть отменено, в результате формируется накапливающийся пул обращений с предельными сроками обработки; также установлены KPI по эффективности	Сроки обработки: от 3 до 30 рабочих дней в зависимости от категории и регламентов ЦУР

На основе таблицы можно описать процесс маршрутизации обращений в ЦУР как модель массового обслуживания типа $M_x/G/c$ с распределением, основанным на специализации операторов, открытой сетью массового обслуживания и возможностью возвратов обращений.

Далее в работе были изучены методы моделирования и проанализировано соответствие методов задачам исследования. В частности, были рассмотрены следующие методы моделирования:

- модель марковского процесса;
- потоковое моделирование;
- агентное моделирование;
- дискретно-событийное моделирование;
- применение глубокого машинного обучения с подкреплением.

Классический подход для анализа процессов в системах массового обслуживания с применением марковских процессов [15] потребует значительных упрощений, в частности, использования экспоненциального времени обслуживания и агрегирования случаев возврата обращений на другие этапы. Таким образом, этот метод может быть использован только для предварительной оценки соблюдения ограничений и KPI в процессе.

Потоковое моделирование [16] может быть применено для анализа с точки зрения моделирования устойчивости системы и возможности обработать растущий объем обращений в заданные нормативно сроки. При этом для лучших результатов моделирования необходимо рассчитывать модель на значительно большем количестве операторов.

Агентное моделирование [17] является более комплексным методом, но оно преимущественно

используется для задач, когда необходимо оценивать поведение отдельных агентов (например, более подробный анализ деятельности операторов). Схожим по сложности является дискретно-событийное моделирование [18]. Оно позволяет подробно описать неоднородный входящий поток обращений (в том числе с учетом сбора обращений раз в день), распределение потока по операторам в соответствии с их компетенцией, а также с включением вероятности возвратов на разных этапах. Также этот метод позволит вычислить все существующие критерии эффективности при наличии достаточного объема данных.

Более эффективным методом может быть применение [19] машинного обучения. Разработка симуляционной модели на его основе может позволить оптимизировать распределение задач по операторам и, далее, по исполнителям. Такой подход может предоставить более точные результаты по определению решений для улучшения эффективности системы с точки зрения организации процесса, но для оценки текущей эффективности наиболее оптимальным является метод дискретно-событийного моделирования. По этой причине он был выбран в данной работе для вычисления показателей и предела устойчивости системы маршрутизации ЦУР. Для того, чтобы определить точное количество обращений, превышающих нормативные ограничения по времени обработки, также был использован дискретно-временный метод.

Для создания модели была использована библиотека SimPy на языке Python. Параметры модели были определены на основе нормативных требований и интервью с представителями ЦУР Санкт-Петербурга. Также

для разработки модели был получен временной ряд с распределением количества обращений по дням за 2022 год. Этот временной ряд включает в себя обращения, полученные из Платформы обратной связи, а также вопросы и обращения, собираемые из официальных групп органов власти в социальной сети ВК. Дополнительно использовался набор данных с временным рядом поступления обращений на портал «Наш Санкт-Петербург».

Дискретно-событийная модель создает ежедневный поток обращений, который основан на случайной выборке из количества обращений в день для каждого дня недели. Таким образом учитывается неравномерное распределение (в частности, суммарный объем появившихся обращений за пятницу, субботу и воскресенье, который обрабатывается в понедельник). Она включает в себя два этапа – этап операторов, которые получают выгрузку обращений из сервисов, обрабатывают обращения (категоризация, определение адреса), назначают исполнителей и отправляют ответы от исполнителей гражданам, и этап исполнителя – территориального или функционального органа власти. Модель состоит из нескольких элементов.

В статические объекты входят:

- ограниченный ресурс оператора R_{op} .
- ограниченный ресурс исполнителя R_{ex} .
- очередь заявок у операторов Q_{op} .
- очередь заявок у исполнителей Q_{ex} .

В динамические объекты входят:

- заявка Z_i с атрибутами (t_{arr} - время прибытия, cat - категория обращения, $addr$ - локация обращения);

- процесс обработки заявки оператором и исполнителем A_{op} , A_{ex} соответственно;

- процесс маршрутизации P заявки Z_i (последовательность от A_{op} к A_{ex} и к создателю заявки).

- группа событий E_k , в частности: $arrival$ (прибытие Z_i), $start_service$ (начало обработки Z_i), $finish_service$ (завершение обработки Z_i), $return$ (возвращение ответа исполнителю на доработку Z_i), $timeout$ (превышение срока обработки Z_i).

Хронология моделируется в SimPy как упорядоченная серия событий E_k , изменяющих состояния (Q_{op} , Q_{ex} , R_{op} , R_{ex}).

Показатели эффективности выражаются через наблюдаемые величины траектории системы:

- среднее время обслуживания у операторов W_{op} .
- среднее время обслуживания у исполнителей W_{ex} .
- число заявок в системе, которые обрабатываются дольше суток $B(t)$.
- доля заявок с временем обработки более 10 дней P_{10} .
- доля заявок с временем обработки более 30 дней P_{30} .
- коэффициент загрузки операторов ρ_{op} .
- коэффициент загрузки исполнителей ρ_{ex} .

Эти метрики рассчитываются встроенными счетчиками библиотеки SimPy: монитор регистрирует интервалы обслуживания и состояния очередей, а агрегаторы формируют выборочные средние и доли просроченных заявок после каждого прогона Монте-Карло.

Среднее время работы оператора фиксирует, сколько в среднем заявка Z_i находится в динамическом объекте A_{op} (обработка оператором), который использует ресурс R_{op} , начиная от события $start_service$ до $finish_service$ и исключая пребывание в очереди Q_{op} .

Среднее время работы исполнителя отражает аналогичный интервал для пребывания в объекте A_{ex} с ресурсом R_{ex} после выхода из очереди Q_{ex} .

Число заявок в бэклоге $B(t)$ описывает текущий объём динамических объектов Z в системе, чьё событие $arrival$ произошло более суток назад, но при этом итоговое событие $finish_service$ ещё не наступило.

Доля заявок с превышением нормативного времени пребывания в обработке рассчитывается дважды: P_{10} для порога в 10 дней и P_{30} для 30 дней. В каждом случае измеряется отношение числа заявок, чья полная траектория по процессу P (от $arrival$ до $finish_service$) превысила соответствующий норматив, к общему количеству завершённых заявок. Коэффициент загрузки операторов (и отдельно исполнителей) показывает, какую часть доступного времени заняты ресурсы R_{op} и R_{ex} : счётчики симуляции агрегируют фактическое время, в которое хотя бы один процесс A_{op} или A_{ex} удерживал ресурс, и делят его на

временной промежуток, умноженный на мощность ресурса (n_{op} или n_{ex}).

В первом блоке на основе временного ряда определяется объем поступающих обращений $Z(t)$. Далее задаются параметры модели: временной период, который симулируется в модели T , количество часов в рабочем дне N_{day} , приблизительное время, затрачиваемое операторами t_{op} и исполнителями t_{ex} на работу с обращением, количество операторов R_{op} и исполнителей R_{ex} , функциональные категории cat , к которым относится обращение (по классификации ЦУР Санкт-Петербурга их 12 – жилищно-коммунальное хозяйство, транспорт, благоустройство, здравоохранение, образование, социальная поддержка, безопасность, энергетика, строительство, экологическая обстановка, обращение с твердыми бытовыми отходами.). Также в этом блоке задается распределение специализаций операторов – каждый может обрабатывать обращения по категориям до трех видов включительно.

Во втором блоке задаются параметры скорости работы операторов и исполнителей. Скорость операторов определена на основе интервью и равняется среднему значению в 0.03 часа на сообщение для одного оператора. Скорость исполнителей определена на основе регламента оценки исполнителей для ЦУР Воронежской области и равна распределению от 0 до 6 часов на обращение на одного исполнителя. Также задан параметр, определяющий вероятность того, что обращение может быть решено оператором (например, обращение, требующее предоставления информации или другого короткого ответа). Он равен 0.1. Следующий параметр, который будет использован для сценария увеличенного объема обращений – это параметр сканирования. Также учитывается вероятность того, что оператор направил обращение к неверному исполнителю, из-за чего ему необходимо обработать его заново, а также вероятность того, что качество ответа исполнителя не удовлетворит

оператора и он вернется исполнителю для доработки.

Затем с помощью SimPy определены функции симуляции. Раз в день обращения распределяются по операторам по принципу FIFO – сначала новые, затем обращения из бэклога. После обработки они направляются исполнителям. В конце каждого дня симуляции обновляются счетчики обращений: бэклог $B(t)$, включающий в себя обращения, превысившие по времени обработки 1 день (попавшие в бэклог), а также нормативные лимиты P_{10} и P_{30} . Далее производится симуляция. Применяется усреднение при помощи алгоритма Монте Карло со 100 прогонами для заданных условий. Вычисляется средний результат параметров эффективности отдельно для этапа операторов и этапа исполнителей – количества обращений в бэклоге, а также доли от общего числа, находящиеся в категории просроченных.

Схема модели представлена на рисунке 3.

Результат. Для проверки гипотезы исследования были выполнены симуляции в нескольких сценариях: с предоставленным распределением объема обращений за 2022 год, с выросшим объемом обращений (в 1.5 от общего объема), с увеличенным количеством операторов, с добавленным объемом обращений с портала Наш Санкт-Петербург. Во всех сценариях моделировалась деятельность в течение 2 месяцев, исходя из предположения, что в исполнительных органах власти над решением проблем работает 12 человек, затрачивая до 6 часов на решение каждой проблемы. Вероятность неверного определения исполнителя составляет 5%, возвращения ответа исполнителю на доработку также 5%. 10% обращений решаются операторами.

Первый сценарий основан на существующих данных о нагрузке ЦУР Санкт-Петербурга за 2022 год (от 150 до 2000 обращений в день). Количество операторов составляет 10 человек. Результаты показаны на рисунке 4.

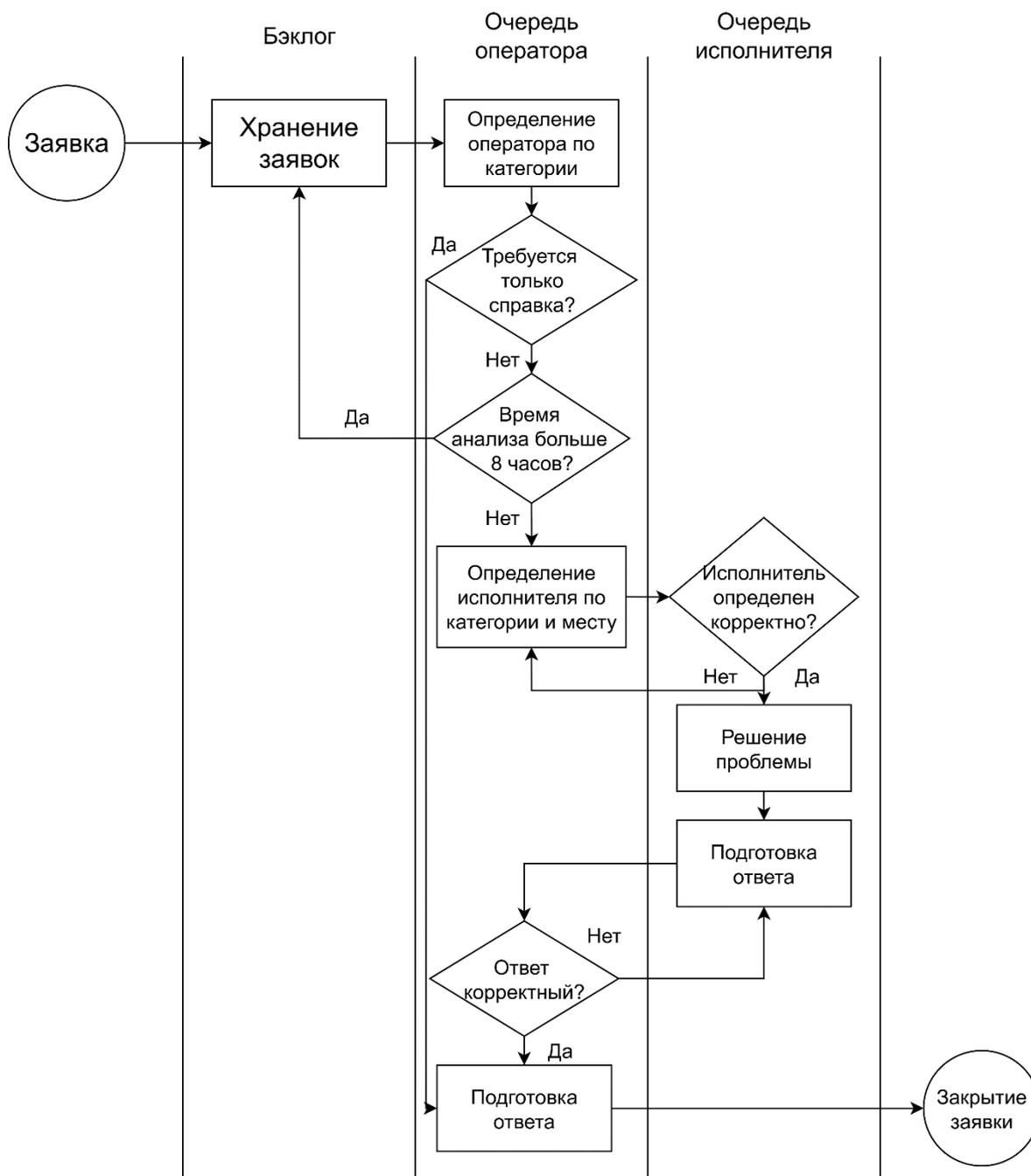


Рисунок 3 – Схема модели
Источник: разработан авторами



Рисунок 4 – Симуляция сценария по историческим данным
Источник: разработан авторами

В результате этой симуляции можно сделать следующие выводы: даже с существующим объемом обращений и расчетом на 10 операторов и 12 исполнителей на каждую категорию присутствует постоянный рост бэклога. Процент превышения нормативных требований при этом не настолько значителен. Тем не менее, в результате такого роста про

цент может увеличиваться, что приведет либо к нарушению устойчивости системы, либо к необходимости не анализировать определенную группу обращений для очистки бэклога.

Второй сценарий основан на таком же количестве операторов, но с ожидаемым ростом объема обращений в среднем в 1.5 раза от текущего. Результаты показаны на рисунке 5.



Рисунок 5 – Симуляция сценария при росте объема обращений

Источник: разработан авторами

Увеличение объема обращений привело к пропорциональному росту бэклога и к значительному увеличению долей обращений, превышающих ограничения. При этом график роста обращений, превышающих 30 дней, близится к экспоненциальной прогрессии.

Третий сценарий основан на предположении, что нагрузку по обработке обращений с портала «Наш Санкт-Петербург» и из других каналов связи объединят в одном центре. Результат показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Симуляция сценария централизации каналов обратной связи

Источник: разработан авторами

В результате объединения объем обращений вырастает в большей степени, чем при моделировании роста по основным каналам обратной связи. Также увеличивается нагрузка на операторов. Значительное превышение ограничений по времени работы с обращениями не позволяет допустить объединения нескольких активных каналов при те-

кущей структуре процесса маршрутизации.

Четвертый сценарий предполагает экстенсивный подход к решению проблемы растущего бэклога и превышения сроков обработки обращений через увеличение количества операторов до 40 человек. Объем обращений в этом случае равен сценарию 2. Результаты отображены на рисунке 7.



Рисунок 7 – Симуляция сценария при увеличении количества операторов

Источник: разработан авторами

Значительное увеличение количества операторов предотвращает влияние задержек с маршрутизацией обращений на рост бэклога и, как результат, уменьшает долю превышений ограничения для «фаст-трека» до минимума (по условию в этом случае количество времени на обработку обращения операторами не должно превышать 12 часов). Тем не менее, в таком случае обработанные обращения скапливаются на этапе исполнителей. Для решения этой проблемы необходимо системно изменить подход к предварительной обработке и анализу поступающих вопросов и жалоб граждан.

Выводы и рекомендации. В результате проведения симуляций в дискретно-событийной модели было выявлено, что при росте входящего потока обращений в 1.5 раза бэклог $B(t)$ растет пропорционально, при этом доля обращений, которая превышает R_{30} , растет почти экспоненциально. Это выводит систему за рамки установленных KPI, что подтверждает первую гипотезу.

Централизация всех каналов связи (на примере Санкт-Петербурга – обращений с портала «Наш Санкт-Петербург», обращений, получаемых через «Инцидент-менеджмент» из социальной сети VK и обращений с платформы обратной связи) в одной системе без структурного изменения процесса обработки значительно увеличивает нагрузку на операторов и приводит к нарушению R_{10} , R_{30} и накоплению бэклога. Это подтверждает вторую гипотезу исследования.

Проверка экстенсивных изменений (увеличение R_{op} до 40 человек), выполненная в

третьем сценарии, сдвигает «узкое место» в системе на исполнителей, поэтому является только частичным решением. Кроме того, процесс категоризации требует трудоемкого труда аналитиков с экспертизой в ряде отраслей городского хозяйства, и предложение таких специалистов на рынке труда ограничено, что особенно актуально в условиях необходимости развития ЦУР в регионах Российской Федерации.

Для того, чтобы решить описанную проблему, в работе рекомендуется предпринять ряд изменений. В частности, необходимо значительно повысить производительность операторов с помощью сокращения параметра t_{op} , уменьшить вероятность ошибки при назначении исполнителя и предоставить методы анализа комплексных ситуаций. Для этого требуется разработать метод интеллектуальной маршрутизации обращений, основывающийся на их пространственно-функциональных характеристиках. В процесс такой маршрутизации могут входить методы использования ML-классификаторов обращений, NER (natural entity recognition, выявление именованных сущностей) в комбинации со алгоритмами геокодинга для определения локаций обращений, и методы конструирования динамических пространственных графов знаний из обработанных текстов для формирования комплексных картин проблем. Внедрение подобных методов в составе интеллектуальных сервисов и обучение операторов их применению в аналитической деятельности поможет адаптации системы работы с обращениями к растущей нагрузке.

Список источников

1. Mayne Q., de Jong J., Fernandez-Monge F. State Capabilities for Problem-Oriented Governance // *Perspectives on Public Management and Governance*. – 2020. – Т. 3 (1). – С. 33–44. – DOI: 10.1093/ppmgov/gvz023. – Текст: электронный. (In Eng.).
2. Frederickson H. G. The Lineage of New Public Administration // *Administration & Society*. – 1976. – Т. 8 (2). – С. 149–174. – DOI: 10.1177/009539977600800202. – Текст: электронный. (In Eng.).
3. Hurlbert M., Gupta J. The Split Ladder of Participation: A Diagnostic, Strategic, and Evaluation Tool to Assess When Participation Is Necessary // *Environmental Science & Policy*. – 2015. – Т. 50. – С. 100–113. (In Eng.).
4. Thomas J. C. Citizen, Customer, Partner: Rethinking the Place of the Public in Public Management // *Public Administration Review*. – 2013. – Т. 73 (6). – С. 786–796. – DOI: 10.1111/puar.12109. – Текст: электронный. (In Eng.).
5. Alford J., Hughes O. Public Value Pragmatism as the Next Phase of Public Management // *The American Review of Public Administration*. – 2008. – Т. 38 (2). – С. 130–148. – DOI: 10.1177/0275074008314203. – Текст: электронный. (In Eng.).
6. Göbel S. Voting and Social Media-Based Political Participation // *Journal of Quantitative Description: Digital Media*. – 2021. – Т. 1. – DOI: 10.51685/jqd.2021.021. – Текст: электронный. (In Eng.).
7. NYC311 // NYC311 portal. – URL: <https://portal.311.nyc.gov> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный. (In Eng.).
8. Наш город Москва. 2025. – URL: <https://gorod.mos.ru> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный.
9. Портал «Наш Санкт-Петербург». 2025. – URL: <https://gorod.gov.spb.ru> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный.
10. Постановление Правительства РФ от 16.11.2020 № 1844 «Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета автономной некоммерческой организации по развитию цифровых проектов в сфере общественных связей и коммуникаций «Диалог Регионы» на создание и обеспечение функционирования в субъектах Российской Федерации центров управления регионов и Правил создания и функционирования в субъектах Российской Федерации центров управления регионов» // Система «Гарант» [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/74922838> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный.
11. Об утверждении Положения и структуры Центра управления регионом в Санкт-Петербурге от 23.12.2020 г. 2025. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573191625> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный.

References

1. Mayne Q., de Jong J., Fernandez-Monge F. State Capabilities for Problem-Oriented Governance. *Perspectives on Public Management and Governance*. 2020. Vol. 3 (1). pp. 33–44. DOI: 10.1093/ppmgov/gvz023.
2. Frederickson H. G. The Lineage of New Public Administration. *Administration & Society*. 1976. Vol. 8 (2). pp. 149–174. DOI: 10.1177/009539977600800202.
3. Hurlbert M., Gupta J. The Split Ladder of Participation: A Diagnostic, Strategic, and Evaluation Tool to Assess When Participation Is Necessary. *Environmental Science & Policy*. 2015. Vol. 50. pp. 100–113.
4. Thomas J. C. Citizen, Customer, Partner: Rethinking the Place of the Public in Public Management. *Public Administration Review*. 2013. Vol. 73 (6). pp. 786–796. DOI: 10.1111/puar.12109.
5. Alford J., Hughes O. Public Value Pragmatism as the Next Phase of Public Management. *The American Review of Public Administration*. 2008. Vol. 38 (2). pp. 130–148. DOI: 10.1177/0275074008314203.
6. Göbel S. Voting and Social Media-Based Political Participation. *Journal of Quantitative Description: Digital Media*. 2021. Vol. 1. DOI: 10.51685/jqd.2021.021.
7. NYC311. *NYC311 portal*. Available at: <https://portal.311.nyc.gov> (accessed 10.04.2025).
8. Our City Moscow portal. 2025. Available at: <https://gorod.mos.ru> (accessed 10.04.2025). (In Russ.).
9. Our St. Petersburg Portal. 2025. Available at: <https://gorod.gov.spb.ru> (accessed 10.04.2025). (In Russ.).
10. Government of the Russian Federation. Resolution No. 1844 of 16 Nov 2020 «On Approval of the Rules for Granting a Subsidy from the Federal Budget to the Autonomous Non-Profit Organization for the Development of Digital Projects in the Sphere of Public Relations and Communications «Dialog Regions» for the Creation and Ensuring the Functioning, in the Constituent Entities of the Russian Federation, of Regional Management Centers, and of the Rules for the Establishment and Operation, in the Constituent Entities of the Russian Federation, of Regional Management Centers.» *Garant System*. Available at: <https://base.garant.ru/74922838> (accessed: 10.04.2025). (In Russ.).
11. On Approval of the Regulation and Structure of the Regional Management Center in Saint Petersburg (dated 23 Dec 2020). *Government of Saint Petersburg*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573191625> (accessed: 10.04.2025). (In Russ.).

12. Федеральный закон от 02.05.2006 № 59-ФЗ «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации». 2025 // Система «Гарант» [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/12146661> (дата обращения: 10.06.2025). – Текст: электронный.
13. Платформа обратной связи (ПОС). 2025. – URL: <https://pos.gosuslugi.ru/docs#pf> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный.
14. Постановление Правительства Кировской области от 29.12.2021 № 743-П «Об утверждении Регламента функционирования и информационного обеспечения Центра управления регионом Кировской области». 2025. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/578062657> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный.
15. Chakravarthy S. R., Shruti S., Rummyantsev A. Analysis of a Queueing Model with Batch Markovian Arrival Process and General Distribution for Group Clearance // *Methodology and Computing in Applied Probability*. – 2021. – Т. 23 (4). – С. 1551–1579. – DOI: 10.1007/s11009-020-09828-4. – Текст: электронный. (In Eng.).
16. Puha A. L., Ward A. R. Fluid Limits for Multiclass G/GI/N+GI Queues with General Reneging Distributions and Head-of-the-Line Scheduling // *Mathematics of Operations Research*. – 2022. – Т. 47 (2). – С. 1192–1228. – DOI: 10.1287/moor.2021.1166. – Текст: электронный. (In Eng.).
17. Fuller D. B., Arruda E. F., Ferreira Filho V. J. M. Learning-Agent-Based Simulation for Queue Network Systems // *Journal of the Operational Research Society*. – 2020. Т. 71 (11). – С. 1723–1739. – DOI: 10.1080/01605682.2019.1633232. – Текст: электронный. (In Eng.).
18. Vecillas Martin D., Berruezo Fernández C., Gento Municio A.M. Systematic Review of Discrete Event Simulation in Healthcare and Statistics Distributions // *Applied Sciences*. – 2025. – Т. 15 (4). – С. 1861. – DOI: 10.3390/app15041861. – Текст: электронный. (In Eng.).
19. Dai J.G., Gluzman M. Queueing Network Controls via Deep Reinforcement Learning // *Stochastic Systems*. – 2022. – Т. 12 (1). – С. 30–67. – DOI: 10.1287/stsy.2021.0081. – Текст: электронный. (In Eng.).
12. Russian Federation. Federal Law No. 59-FZ of 2 May 2006 «On the Procedure for the Consideration of Appeals of Citizens of the Russian Federation». 2025. *Garant System*. Available at: <https://base.garant.ru/12146661> (accessed: 10.06.2025). (In Russ.).
13. Feedback Platform (POS). 2025. Available at: <https://pos.gosuslugi.ru/docs#pf> (accessed: 10.04.2025). (In Russ.).
14. Government of Kirov Oblast. Resolution No. 743-P of 29 Dec 2021 «On Approval of the Regulation on the Functioning and Information Support of the Regional Management Center of Kirov Oblast». 2025. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/578062657> (accessed: 10.04.2025). (In Russ.).
15. Chakravarthy S. R., Shruti S., Rummyantsev A. Analysis of a Queueing Model with Batch Markovian Arrival Process and General Distribution for Group Clearance. *Methodology and Computing in Applied Probability*. 2021. Vol. 23 (4). pp. 1551–1579. DOI: 10.1007/s11009-020-09828-4.
16. Puha A. L., Ward A. R. Fluid Limits for Multiclass G/GI/N+GI Queues with General Reneging Distributions and Head-of-the-Line Scheduling. *Mathematics of Operations Research*. 2022. Vol. 47(2). pp. 1192–1228. DOI: 10.1287/moor.2021.1166.
17. Fuller D. B., Arruda E. F., Ferreira Filho V. J. M. Learning-Agent-Based Simulation for Queue Network Systems. *Journal of the Operational Research Society*. 2020. Vol. 71 (11). pp. 1723–1739. DOI: 10.1080/01605682.2019.1633232.
18. Vecillas Martin D., Berruezo Fernández C., Gento Municio A.M. Systematic Review of Discrete Event Simulation in Healthcare and Statistics Distributions. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15 (4). P. 1861. DOI: 10.3390/app15041861.
19. Dai J.G., Gluzman M. Queueing Network Controls via Deep Reinforcement Learning. *Stochastic Systems*. 2022. Vol. 12 (1). pp. 30–67. DOI: 10.1287/stsy.2021.0081.

Научная статья
УДК 004.33
doi: 10.17586/2713-1874-2025-3-83-95

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УЧЕБНЫХ КУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МЕТРИК И ЭТАЛОННОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ

Полина Анатольевна Шнайдер^{1✉}, *Илья Алексеевич Летенков*²,
*Максим Валерьевич Хлопотов*³

¹HelloFresh SE, Берлин, Германия

^{2,3}Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

¹beatrix.linkoln@gmail.com ✉, <https://orcid.org/0000-0002-4147-6561>

²ilya.letenkov@itmo.ru

³khlopotov@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9053-027X>

Язык статьи – русский

Аннотация: В статье предложена система метрик для автоматизированной оценки университетских учебных курсов, основанная на анализе формулировок тем и их структурной организации. Целью исследования является разработка формализованной количественной методики оценки качества курсов, учитывающей как внутренние характеристики содержания, так и его соответствие эталонной дисциплине (при наличии). Методика включает эталон-независимые метрики, оценивающие логическую связность, сбалансированность и избыточность курса, а также эталон-зависимые метрики, позволяющие определить полноту охвата и тематическую релевантность. В качестве инструментов анализа применяются графовые представления, семантические эмбединги и метрики последовательности. Методика апробирована на корпусе дисциплин математического профиля. Результаты показали её эффективность в выявлении логических нарушений, пропусков ключевых тем и нерелевантного содержания. Разработанный подход может использоваться для поддержки проектирования и обновления учебных курсов, а также как основа автоматизированной обратной связи в цифровой образовательной среде. В качестве следующего этапа работы рассматривается интеграция системы с генеративными языковыми моделями и расширение набора метрик за счёт содержательных характеристик, таких как глубина раскрытия тем и уровни сложности.

Ключевые слова: анализ содержания, автоматизированная оценка, генерация курсов, графовое представление, структура курса, тематическая релевантность, формулировки тем, эталонная модель, эталон-независимые метрики, эталон-зависимые метрики

Ссылка для цитирования: Шнайдер П. А., Летенков И. А., Хлопотов М. В. Методика оценки учебных курсов с использованием многокомпонентных метрик и эталонного сопоставления // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 3. С. 83–95. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-83-95>.

AN APPROACH TO EVALUATING ACADEMIC COURSES THROUGH MULTI-FACTOR METRICS AND REFERENCE COURSE ALIGNMENT

Polina A. Shnaider^{1✉}, *Ilya A. Letenkov*², *Maksim V. Khlopotov*³

¹HelloFresh SE, Berlin, Germany

^{2,3}ITMO University, Saint Petersburg, Russia

¹beatrix.linkoln@gmail.com ✉, <https://orcid.org/0000-0002-4147-6561>

²ilya.letenkov@itmo.ru

³khlopotov@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9053-027X>

Article in Russian

Abstract: This paper presents a system of metrics for the automated evaluation of university-level academic courses, based on the analysis of topic formulations and their structural organization. The objective of the study is to develop a formalized quantitative methodology for assessing course quality, accounting for both internal content characteristics and alignment with a reference syllabus (when available). The proposed approach includes reference-independent metrics that assess logical coherence, structural balance, and content redundancy, as well as reference-based metrics that evaluate topic coverage and thematic relevance. Analytical tools include graph-based representations, semantic embeddings, and sequence-based metrics. The methodology was tested on a corpus of mathematics-related university courses. The results demonstrate the system's effectiveness in identifying logical inconsistencies, missing core topics, and irrelevant content. The proposed approach can be used to support the design and revision of academic courses and to provide automated

feedback in digital learning environments. As a next step, the integration of the system with generative language models and the extension of the metric set to include content-level characteristics—such as topic depth and complexity levels—is being considered.

Keywords: automated evaluation, course generation, course structure, graph representation, reference-based metrics, reference-free metrics, semantic relevance, subject alignment, syllabus comparison, topic formulations

For citation Shnaider P. A., Letenkov I. A., Khlopotov M. V. An Approach to Evaluating Academic Courses Through Multi-Factor Metrics and Reference Course Alignment. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 3. pp. 83–95. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-3-83-95>.

Введение. Контроль качества содержания образовательных программ является ключевым фактором в обеспечении эффективности обучения, особенно в условиях перехода к цифровым образовательным средам. В университетской практике задачи, связанные с проектированием и оценкой учебных курсов, приобретают особую значимость на фоне расширения спектра дисциплин, развития междисциплинарных программ и необходимости быстрой адаптации содержания под запросы отрасли и академического сообщества.

В настоящее время оценка содержания курсов в университетах, как правило, осуществляется вручную на основе экспертных заключений, ведомственных стандартов и формальных требований (например, полноты рабочих программ и соответствия планируемым результатам обучения). Несмотря на свою значимость, такой подход не позволяет в полной мере выявлять логические несоответствия и оценивать информационную структуру курсов: дублирование тем, тематическая избыточность, слабая связанность и нерелевантный контент могут оставаться незамеченными. Особенно остро эта проблема проявляется в масштабных образовательных программах, включающих сотни курсов с разными форматами представления.

Актуальность автоматизированной оценки содержания курсов возрастает по мере внедрения цифровых инструментов: модульных редакторов, платформ коллективной разработки, систем поддержки учебных планов. В этих условиях университетам требуются формализованные количественные методы, способные обеспечивать масштабируемую, объективную и воспроизводимую оценку качества курсов как на этапе их проектирования, так и при последующем обновлении.

Литературный обзор. Необходимость разработки таких подходов подтверждается и

в современной научной литературе. В частности, Шалкина Т. Н. указывает на важность учёта не только полноты и корректности содержания электронных курсов, но и их соответствия дидактическим и структурным критериям [1]. В работе Старыгиной С. Д. рассматриваются автоматизированные модели оценки качества, позволяющие формализованно анализировать курсы на разных уровнях и получать количественные индикаторы их состояния [2]. Также существуют методики численной оценки качества онлайн-курсов, основанные на экспертной системе параметров и применимые в массовых образовательных проектах [3]. Дополнительные интерес представляют интеллектуальные методы оценки, использующие технологии анализа иерархий, онтологии и экспертные модели [4].

Наряду с классическими методиками всё большую популярность приобретают подходы, использующие инструменты машинного обучения и обработки естественного языка. Так, X. Chen и соавторы [5] предлагают модель оценки онлайн-курсов на основе анализа отзывов студентов с использованием тематического моделирования — в частности, модели латентного размещения Дирихле (LDA). Обнаруженные темы трактуются как критерии оценки, а итоговая иерархическая модель строится с помощью метода анализа иерархий (АНР). Хотя подход позволяет учитывать субъективные аспекты восприятия курса, он требует наличия массивов пользовательских данных и не затрагивает непосредственно структуру учебного материала.

Другой перспективный вектор связан с применением больших языковых моделей (LLM). В работе Wo Yuan и Jiazi Hu [6] рассматривается использование GPT-подобной модели для анализа содержательной полноты и семантической согласованности курсов. LLM используется как инструмент

экспертной поддержки для интерпретации тем, оценки релевантности и предварительного ранжирования. Однако такие модели функционируют как «чёрный ящик», что затрудняет интерпретируемость и верификацию результатов. На этом фоне предлагаемый в настоящей работе подход можно охарактеризовать как более детерминированный и интерпретируемый: он опирается на формализованные метрики, устойчив к вариативности формулировок и не требует ручной аннотации или дообучения моделей.

Таким образом, в научной и прикладной плоскости сохраняется потребность в разработке и валидации методов формализованной оценки качества учебных дисциплин, обеспечивающих как внутреннюю структурную проверку, так и сопоставление содержания с референсными моделями.

Целью настоящей работы является разработка и апробация системы метрик, позволяющей автоматизировано оценивать структуру, полноту и тематическую релевантность курсов.

Предлагаемый подход ориентирован на поддержку системного анализа образовательных данных и может использоваться в задачах контроля качества, валидации учебных планов, а также в системах рекомендаций и сопровождения образовательных траекторий.

Постановка задачи исследования. Целью настоящего исследования является разработка формализованной системы количественной оценки структуры и содержания учебных дисциплин, предназначенной для автоматизированной верификации качества курсов в цифровой образовательной среде.

В рамках достижения этой цели решаются следующие задачи.

- **Раздел: Введение в программирование**

- Основные понятия: алгоритм, программа, переменные
- Ввод и вывод данных
- Условные операторы и циклы

- **Раздел: Структуры данных**

- Массивы и списки
- Словари и множества
- Основы рекурсии

- 1) Определение ключевых характеристик учебных курсов, подлежащих оценке (структурная связность, полнота охвата, тематическая релевантность).

- 2) Построение набора эталон-зависимых и эталон-независимых метрик, отражающих указанные характеристики.

- 3) Экспериментальная валидация метрик на корпусе университетских дисциплин.

- 4) Анализ чувствительности и интерпретируемости метрик.

- 5) Демонстрация применимости подхода на примерах дисциплин различного профиля.

Структура учебной дисциплины. Учебная дисциплина моделируется как двухуровневая структура (рисунок 1), включающая:

- разделы – логически обособленные содержательные блоки (например, модули, тематические сегменты);

- темы – элементы содержания, сгруппированные внутри разделов. Такое представление обеспечивает формализованное описание курса, пригодное для анализа логики, сбалансированности и связности содержания. Хотя конкретные заголовки разделов и тем задаются преподавателем, на практике используются устойчивые словосочетания и типовые структуры, характерные для каждой предметной области. Например: в математических курсах: «Введение в линейную алгебру», «Методы решения СЛАУ», «Собственные значения и векторы»; в программировании: «Основы синтаксиса Python», «Работа с файлами», «Обработка исключений»; в экономике: «Рынки и конкуренция», «Основы налогообложения», «Финансовый анализ деятельности компании».

Рисунок 1 – Пример структуры курса

Источник: составлен авторами

Использование формулировок тем и разделов в качестве основной единицы анализа не претендует на отражение полной педагогической структуры дисциплины. Однако в условиях цифрового проектирования и типовой терминологии, сложившейся в предметных областях, такое приближённое представление позволяет проводить первичную структурную верификацию курса на этапе его проектирования или обновления.

Обоснование необходимости структурной оценки. Логически организованная структура способствует более глубокому и системному усвоению материала [7], снижает когнитивную нагрузку и повышает прозрачность траектории обучения.

Кроме того, она позволяет преподавателю и методисту выявлять дублирующиеся, нерелевантные или выпадающие из логики темы, что особенно актуально при проектировании или актуализации большого числа курсов.

Типы используемых метрик. В рамках предлагаемого подхода используются два класса метрик.

1) Эталон-независимые метрики – оценивают курс по внутренним признакам: логической связности тем внутри разделов, сбалансированности и степени повторяемости. Эти метрики не требуют сравнения с внешним эталоном и подходят для первичного анализа качества.

2) Эталон-зависимые метрики – сравнивают структуру курса с референсной дисциплиной и позволяют выявить пробелы в покрытии ключевых тем, избыточные элементы, отклонения в порядке и логике изложения.

В качестве эталона могут использоваться:

- дисциплины предыдущих лет;
- курсы родственного направления;
- референсные версии, разработанные внутри образовательной организации на основе накопленных данных и преподавательской практики.

Сравнение с эталоном позволяет обеспечить содержательную преемственность, проверять полноту и логическую стройность курса, а также повысить обоснованность принимаемых проектных решений в образовательной среде.

Методы и материалы исследования. Для формализованной оценки качества учебных дисциплин разработана система метрик, охватывающая три аспекта: структурную согласованность, тематическое покрытие и релевантность содержания. Часть метрик работает независимо от эталона, другая требует сравнения с референсной дисциплиной.

1) Структурные метрики. Позволяют оценить внутреннюю логику курса: согласованность тем, равномерность нагрузки и отсутствие дублирования.

Метрики:

- *semantic coherence* – связность тем внутри раздела,

- *structural balance* – равномерность распределения,

- *redundancy* – избыточность и повторы.

2) Метрики покрытия (*coverage*). Фиксируют, насколько содержание курса охватывает ключевые элементы эталона. Используются при проверке преемственности и актуальности.

Метрики:

- *semantic topic coverage* – темы эталона, представленные в курсе,

- *graph-based coverage* – охват содержательных связей.

3) Метрики релевантности. Выявляют нерелевантные или случайные темы, не соответствующие целям дисциплины.

Метрики:

- *relevance* – семантическое соответствие,

- *extra topics penalty* – доля нерелевантных тем.

Все метрики рассчитываются на основе формализованного представления курса в виде упорядоченной структуры: темы сгруппированы по разделам, порядок и логические связи сохраняются. Это позволяет проводить оценку как на уровне отдельных тем, так и на уровне макроструктуры курса в целом.

Структурные метрики. Структурные метрики предназначены для оценки внутренней логики и композиционной целостности учебной дисциплины. Они выявляют, насколько темы внутри и между разделами формируют связную, сбалансированную структуру.

Используются три подметрики: *semantic coherence*, *topic flow*, *structural balance*.

Метрики *semantic coherence* и *structural balance* являются эталон-независимыми – работают на основе структуры самого курса и полезны при проектировании новых дисциплин. Метрика *topic flow*, напротив, эталон-зависима и позволяет оценить логическую преемственность в сравнении с референсной структурой.

Метрики не стандартизируют содержание, а выявляют потенциальные структурные нарушения – дублирование, перегрузку, хаотичную последовательность. Все оценки опираются на формализованное представление курса в виде иерархии тем по разделам.

Semantic Coherence. Метрика *Semantic Coherence* оценивает тематическую согласованность тем внутри раздела. Предполагается, что темы, сгруппированные в один смысловой блок, должны быть логически связаны, но не идентичны: полное совпадение формулировок может свидетельствовать о дублировании, а избыточная разнородность – о нарушении логики курса.

Для расчёта используется модель *SentenceTransformer(all-MiniLM-L6-v2)*, основанная на мультязычной архитектуре *MiniLM*. Несмотря на англоязычную обучающую выборку, модель демонстрирует устойчивые результаты при анализе кратких русскоязычных формулировок благодаря универсальности векторных представлений. В качестве тем используются заголовки из структуры курса, без аннотаций или пояснений.

Каждая тема преобразуется в вектор размерности 384. Далее рассчитывается матрица косинусных сходств между темами в каждом разделе, и итоговая когерентность определяется по формуле:

$$\text{flow} = \left(1 - \frac{\text{inversions}}{\text{max_inversions}}\right) \cdot (1 - \text{penalty}_{\text{start}}), \quad (3)$$

где: *inversions* – количество инверсий между порядком тем в курсе и эталоне, *max_inversions* – максимально возможное число инверсий для данной длины последовательности, *penalty_start* – дополнительный штраф за то, что первая тема из эталона появляется слишком поздно в курсе.

Сравнение выполняется только по совпадающим темам. Темы, отсутствующие в эталоне, не учитываются напрямую – их влияние

$$\text{coherence}(R) = \bar{s}^2 \cdot (1 - 1.5 \cdot \sigma_s), \quad (1)$$

где \bar{s} – средняя косинусная схожесть между темами в разделе *R*, σ_s – стандартное отклонение этих значений (тематический разброс).

Метрика сбалансирована: она поощряет тематическую близость и штрафует за высокую дисперсию, однако не снижает значение при избыточной однородности. Для компенсации возможных завышений используется дополнительная метрика *Redundancy*, направленная на выявление повторяющихся формулировок.

Пример:

– Хорошо: «Алгоритмы сортировки» → «пузырьковая сортировка», «быстрая сортировка», «сортировка слиянием».

– Плохо: «Разное» → «SQL-запросы», «теория вероятностей», «ядро ОС».

Topic Flow. Метрика *Topic Flow* оценивает, насколько порядок тем в курсе соответствует логике эталонной структуры и поддерживает дидактическую траекторию. Она основана на модифицированной метрике *Kendall Tau Distance* – числа инверсий между совпадающими темами в двух упорядоченных последовательностях [8], с добавлением штрафа за позднее появление первой эталонной темы. Максимально возможное число инверсий рассчитывается как:

$$\text{max_inversions} = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (2)$$

где *n* – число совпадающих тем. Таким образом, итоговая метрика принимает значения от 0 (полное несоответствие порядка) до 1 (полное совпадение):

отражают другие метрики, такие как *extra topics penalty* и *relevance*.

Примеры:

– Хорошо: логичная прогрессия — «Введение в Python» → «ООП» → «Асинхронное программирование».

– Плохо: порядок нарушен — «Базы данных» → «Циклы» → «Форматы сериализации», при этом базовые темы появляются позже продвинутых.

Метрика дополняет показатели покрытия (coverage) и фиксирует отклонения от дидактически выверенного порядка, что особенно важно при проектировании новых курсов и валидации образовательных траекторий.

Structural Balance. Метрика Structural Balance оценивает равномерность распределения тем между разделами. Её задача – выявление перекосов: перегрузки одних разделов при недостаточности других, что может затруднять восприятие материала.

$$\text{balance} = 1 - \frac{\frac{\sigma_n + \frac{\Delta n}{\max(n)}}{\bar{n}}}{2} - \delta, \quad (4)$$

где σ_n – стандартное отклонение числа тем в разделах, \bar{n} – среднее количество тем, Δn – максимальный скачок между соседними разделами, δ – дополнительный штраф за чрезмерную перегрузку одного из разделов.

Метрика штрафует как значительные диспропорции в числе тем, так и резкие переходы между разделами. При этом она не требует абсолютной симметрии и не интерпретирует различия в содержании как методическую ошибку.

Метрика не требует полной симметрии и не оценивает учебную трудоёмкость тем. В рамках одной дисциплины возможны как крупные модули, так и компактные тематические блоки. Поэтому высокая

сбалансированность по данной метрике – не гарантия качества, а сигнальный индикатор, требующий экспертной интерпретации.

Примеры:

– Хорошо: каждый из 5 разделов содержит по 3–5 тем.

– Плохо: один раздел содержит 15 тем, два других – по одной.

Метрика используется как вспомогательный инструмент на этапе проектирования, позволяя выявлять потенциальную структурную асимметрию, но не подменяет содержательный анализ курса.

Метрики покрытия. Метрики покрытия (coverage metrics) позволяют оценить, насколько содержание курса охватывает ключевые темы эталона. Они не требуют полного совпадения формулировок или структуры, но фиксируют пробелы и отклонения при проектировании или обновлении дисциплин. Используются два подхода: семантическое покрытие и графовое покрытие связей.

Semantic Topic Coverage. Оценивает, какие темы эталона представлены в курсе с точки зрения смысла (без учёта порядка). Каждая тема эталона сравнивается с темами курса по косинусному сходству эмбедингов (SentenceTransformer all-MiniLM-L6-v2), и считается совпавшей, если превышен порог θ , например, 0.8 (формула 5):

$$\text{coverage} = \frac{|\{t \in T_{\text{ref}} | \exists s \in T_{\text{course}} : \cos(\text{emb}(t), \text{emb}(s)) > \theta\}|}{|T_{\text{ref}}|}, \quad (5)$$

где T_{ref} – множество тем эталона, T_{course} – множество тем анализируемого курса, θ – порог семантической близости.

Примеры:

– Хорошо: курс охватывает все ключевые темы эталона, пусть и в изменённой формулировке: «Основы алгоритмизации», «Типы данных», «Условные конструкции» → «Алгоритмическое мышление», «Базовые структуры данных», «Операторы выбора».

– Плохо: в курсе отсутствуют несколько центральных тем эталона, например, «Рекурсия», «Сложность алгоритмов», что указывает на неполный охват.

Метрика особенно полезна для дисциплин с гибкой структурой и на ранних этапах проектирования.

Graph-Based Structural Coverage. Дополняет предыдущую метрику, оценивая сохранение связей между темами. Эталон представляется как граф:

вершины – темы,

рёбра – логические связи (обычно последовательности тем внутри разделов).

Темы сопоставляются с вершинами эталона (порог близости – 0.75), затем строится частичный граф и оценивается покрытие по формуле (6):

$$\text{coverage} = \frac{|V_{\text{match}}| + |E_{\text{match}}|}{|V_{\text{ref}}| + |E_{\text{ref}}|}, \quad (6)$$

где V_{match} , E_{match} – число совпавших тем и рёбер, V_{ref} , E_{ref} – общее число тем и рёбер в эталонном графе.

Метрика чувствительна к нарушению дидактической логики и полезна для задач, связанных с обновлением дисциплин, валидацией учебных траекторий и обеспечением содержательной преемственности.

Примеры:

– Хорошо: курс охватывает почти все темы эталона, включая как центральные, так и периферийные узлы графа. Даже при отличиях в формулировках и структуре сохраняются ключевые связи между темами – «Типы данных» → «Алгоритмы поиска» → «Сортировки» → «Анализ сложности».

– Плохо: курс включает лишь отдельные, изолированные темы, не соединённые в логическую цепочку. Например, есть «Введение» и «Современные подходы», но полностью отсутствуют «Базовые

алгоритмы» и «Структуры данных», необходимые для понимания более сложных элементов.

Метрику *Graph-Based Structural Coverage* целесообразно применять, когда важно оценить не только наличие тем, но и сохранность логических связей между ними. Это особенно актуально для дисциплин, где последовательность тем влияет на понимание, например, в курсе «Введение в искусственный интеллект», где освоение методов должно опираться на ключевые зависимости между понятиями.

Redundancy. Оценивает наличие избыточных тем, семантически или лексически схожих. Рассчитывается на основе сходства между парами тем и коррекции по масштабам курса (формула 7):

$$\text{redundancy} = \min \left(1.0, \bar{p} \cdot \left(\frac{n_{\text{topics}}}{n_{\text{pairs}}} \right)^\alpha + \beta \cdot n_{\text{lex_dupl}} \right), \quad (7)$$

где \bar{p} – средний штраф по семантически близким парам, n_{pairs} – число оценённых пар, n_{topics} – общее число тем в курсе, $n_{\text{lex_dupl}}$ – количество лексических дубликатов, α, β – коэффициенты коррекции (обычно подбираются из диапазонов $0.5 \leq \alpha \leq 1, 0.05 \leq \beta \leq 0.2$).

Примеры:

– Хорошо: все темы курса уникальны по содержанию, даже при частичном совпадении терминов («Машинное обучение» vs «Глубокое обучение»).

– Плохо: в курсе присутствуют темы «SQL-запросы», «Язык SQL», «Основы SQL» — при этом они расположены в разных разделах и слабо различаются по сути.

Метрика *Redundancy* относится к эталонно-независимым и может использоваться на любом этапе проектирования дисциплины. Осо-

бенно эффективно применять её в сочетании с *semantic coherence* и *structural balance* для анализа внутренней согласованности курса.

Метрики релевантности. Метрики данной группы позволяют определить, насколько темы курса соответствуют тематическому фокусу эталона. Они ориентированы на выявление нерелевантных или избыточных тем, не отражённых в предметной области дисциплины.

Relevance. Метрика *Relevance* вычисляет долю тем курса, для которых существует семантически близкая тема в эталоне. Для каждой темы из курса определяется максимальное значение косинусной близости к любой теме эталона (по эмбедингам *Sentence Transformer* ("all-MiniLM-L6-v2")). Если оно превышает пороговое значение (например, 0.7), тема считается релевантной (формула 8):

$$\text{relevance} = \frac{|\{t \in T_{\text{course}} \mid \max_{x \in T_{\text{ref}}} \cos(\text{emb}(t), \text{emb}(x)) > \theta\}|}{|T_{\text{course}}|}, \quad (8)$$

где T_{course} – множество тем анализируемого курса, T_{ref} – множество тем эталонной дисциплины, $\text{emb}(x)$ – эмбединг формулировки темы x , $\cos(\cdot, \cdot)$ – косинусное сходство между двумя эмбедингами, θ – порог семантической близости (например, 0.7), числитель – число тем курса, для которых найдена как минимум одна тема в эталоне с

семантической близостью выше порога, знаменатель – общее число тем в курсе.

Метрика оценивает каждую тему индивидуально, отражая, насколько она вписывается в семантическое пространство эталонной дисциплины.

Примеры:

– Хорошо: Эталон по дисциплине «Ана-

лиз данных» содержит темы: «регрессия», «кластеризация», «оценка моделей». Курс включает: «линейная регрессия», «иерархическая кластеризация», «метрики качества» → Темы не совпадают дословно, но семантически близки, релевантность высокая.

– Плохо: Эталон: «Алгоритмы и структуры данных» Курс включает темы: «основы

менеджмента», «документооборот», «эмоциональное выгорание» → Темы не связаны с исходной предметной областью, семантическое пересечение отсутствует — релевантность близка к нулю.

Extra Topics Penalty. Дополняющая метрика, фиксирующая долю тем, не имеющих семантически близких соответствий (формула 9):

$$extra_topics_penalty = \frac{|\{t \in T_{course} | \max_{x \in T_{ref}} \cos(emb(t), emb(r)) < \theta\}|}{|T_{course}|}, \quad (9)$$

Она использует те же обозначения, что и Relevance, и отличается только знаком сравнения в числителе с параметром θ . Таким образом, обе метрики арифметически дополняют друг друга до единицы при одинаковом пороге.

Примеры:

– Хорошо: Эталон: «Введение в машинное обучение» Курс: «регрессия», «деревья решений», «регуляризация», «кросс-валидация» → Все темы находят семантически близкие аналоги. → Extra Topics Penalty ≈ 0.0 .

– Плохо: Эталон: «Программирование на Python» Курс: «мотивация в обучении», «инфлюенс-маркетинг», «устойчивое развитие» → Темы полностью нерелевантны. → Extra Topics Penalty ≈ 1.0 .

Пограничный случай: Эталон: «Базы данных», Курс из 8 тем, из которых 6 совпадают, а 2 отсутствуют в эталоне: «создание резюме», «развитие soft skills» → Extra Topics Penalty = $2 / 8 = 0.25$.

Формирование итоговой оценки. Для получения интегральной количественной оценки качества курса используется агрегированная модель, объединяющая значения ключевых метрик из трёх категорий: структурных, метрик покрытия и метрик релевантности. Каждая категория отражает отдельный аспект качества: логическую целостность, полноту охвата и тематическое соответствие содержанию эталонной дисциплины.

Итоговая оценка вычисляется по формуле (10):

$$FinalScore = w_s \cdot S + w_c \cdot C + w_r \cdot R, \quad (10)$$

где S – агрегированное значение структурных метрик (semantic coherence, topic flow,

structural balance, redundancy); C – агрегированное значение метрик покрытия (semantic topic coverage, graph-based coverage); R – показатель релевантности (Relevance или $1 - ExtraTopicsPenalty$); w_s , w_c , w_r – веса, определяющие вклад каждой группы метрик (по умолчанию: $w_s = 0,33$, $w_c = 0,33$, $w_r = 0,34$).

Учет наличия эталона. Наличие эталонной дисциплины влияет на доступность отдельных групп метрик:

Если эталон доступен, используются все три категории показателей.

Если эталон отсутствует, итоговая оценка формируется только на основе эталон-независимых метрик: semantic coherence, structural balance, redundancy.

В этом случае:

$$FinalScore = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \quad (11)$$

где M_i – значения доступных метрик, n – их число.

Рекомендуемые веса и адаптация. По умолчанию веса w_s , w_c , w_r устанавливаются равными, что обеспечивает сбалансированный учёт структуры, покрытия и релевантности: $w_s = 0,33$, $w_c = 0,33$, $w_r = 0,34$.

Однако в зависимости от предметной области и цели анализа веса могут адаптироваться: для технических и фундаментальных дисциплин (математика, программирование) может усиливаться вклад структурных характеристик: $w_s \in [0,35;0,5]$ для междисциплинарных или вариативных курсов предпочтение может отдаваться семантической релевантности и охвату: $w_r \in [0,4;0,6]$, $w_c \in [0,2;0,4]$.

Результаты. Описанная система метрик была применена для автоматизирован-

ной оценки университетских дисциплин, относящихся к направлению «Математика». Для формирования выборки использовались все курсы из цифровой базы, названия которых содержали ключевые слова, связанные с математикой. Это позволило выделить корпус дисциплин, близких по тематике, но отличающихся по структуре, уровню детализации и форме подачи материала.

В рамках эксперимента использовался единый эталон, представляющий собой наиболее полное, логически связное и терминологически насыщенное описание базового математического курса. Эталон был автоматически выбран на основе количества тем, охватывающих ключевые понятия предметной области. Учитывая широкую вариативность математических дисциплин, такой подход может быть применён исключительно

для первичной автоматизированной диагностики.

В перспективе может быть реализована схема сопоставления курсов с несколькими эталонами или автоматическая кластеризация по содержательной близости.

На рисунке 2 представлен пример сопоставления двух курсов, приближённых по тематике, но различающихся по уровню структурной согласованности:

В первом случае (итоговая оценка: 0.933) зафиксировано полное покрытие ключевых тем, педагогически логичная структура и внутренняя согласованность. Во втором случае (оценка: 0.115) наблюдаются тематическая фрагментированность, перегруженные или отсутствующие разделы и преобладание нерелевантного эталону содержания.

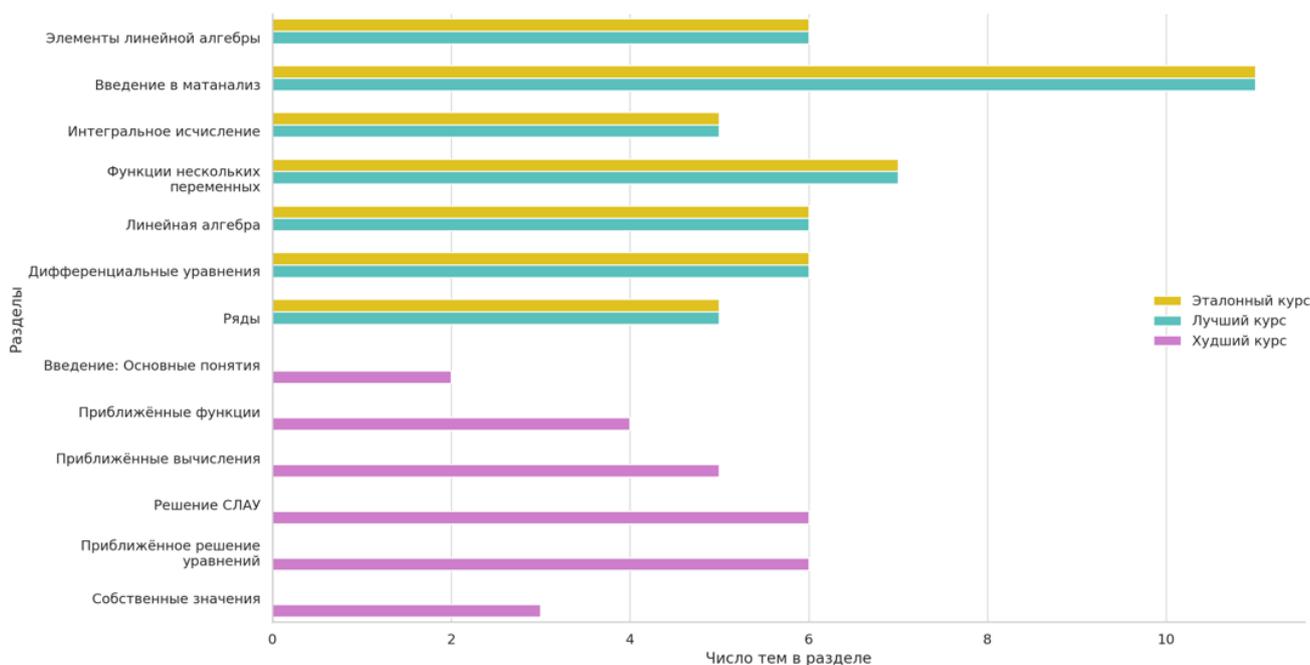


Рисунок 2 – Распределение тем по разделам в эталонном, «лучшем» и «худшем» курсе по направлению «математика»

Источник: составлен авторами

Дополнительно была выполнена массовая автоматизированная оценка всех курсов математического профиля, представленных в системе. Рисунок 3 отражает распределение значений метрик по всей выборке. Особенно выделяется смещение в сторону низких значений по *topic flow*, *semantic topic coverage* и *graph-based coverage*, что указывает на частые отклонения от эталонной структуры и недостаточное покрытие ключевых понятий.

Такая картина является ожидаемой, поскольку для всех курсов использовался единый эталон – обобщённая версия базового математического курса. Это неизбежно приводит к снижению показателей у дисциплин, отличающихся по направленности, уровню или методике преподавания. Но даже при этом условии модель позволяет выявлять курсы с критическими отклонениями по структуре, тематике или релевантности и может служить инструментом первичной диагностики.

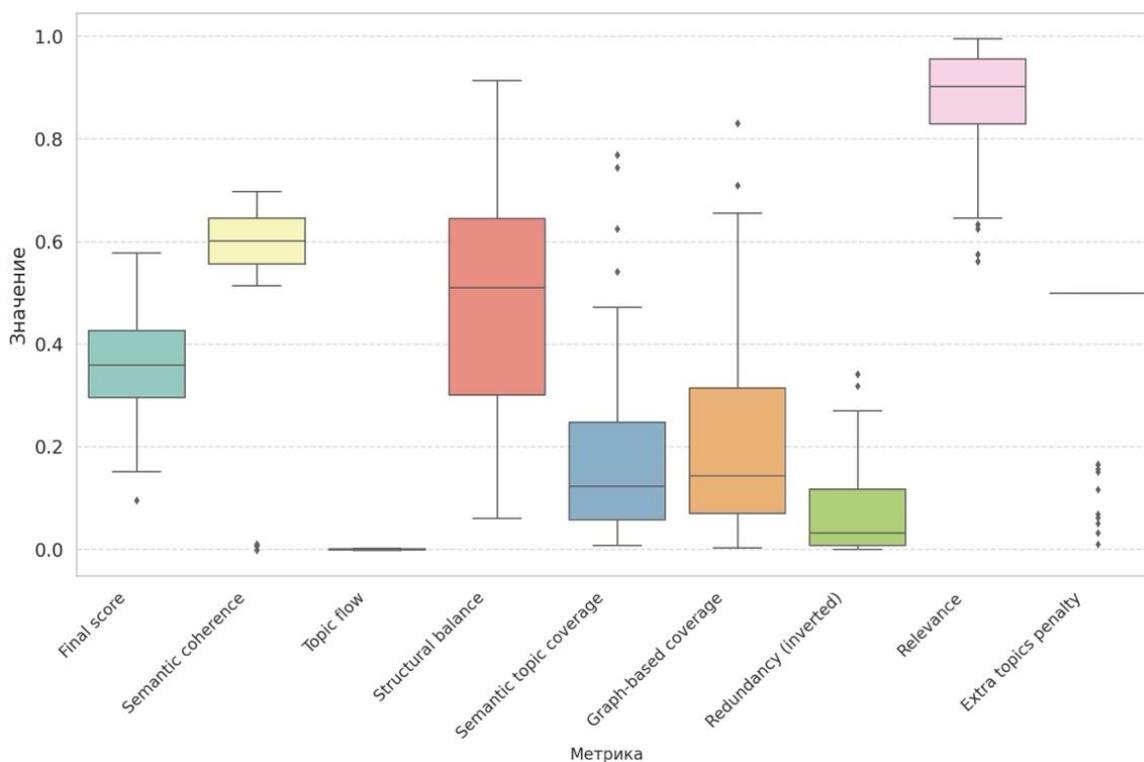


Рисунок 3 – Распределение значений метрик по курсам с названием «математика»

Источник: составлен авторами

Система также была протестирована на курсе «Иностранный язык в профессиональной деятельности», представленного в нескольких версиях.

1) Оценка без эталона (структурная проверка).

В первой версии курс был проанализирован без сопоставления с эталоном, только с использованием эталон-независимых метрик.

Результаты показали:

- высокий показатель structural_balance (1.000),
- умеренную semantic_coherence (0.559),
- отсутствие избыточности (redundancy = 0.000).

Вывод: курс хорошо структурирован, темы логично сгруппированы и сбалансированы. (см. рисунок 4).

2) Оценка с эталоном.

При подключении референсной дисциплины (ID: 36517) были активированы метрики покрытия и релевантности (рисунок 5). Курс продемонстрировал:

- высокое покрытие тем (sequence_coverage = 1.000),
- полную релевантность (relevance = 1.000),

– несколько низкие значения по topic_flow (0.267) и graph-based coverage (0.545).

Вывод: несмотря на высокое тематическое соответствие, структура изложения отличается от эталона.

Интерпретация различий. На рисунке 6 показано, что курс и эталон содержат сопоставимый набор тем, однако порядок их изложения отличается. В большинстве дисциплин такое расхождение может повлиять на логичность подачи и усвояемость материала. Однако в случае «Иностранного языка в профессиональной деятельности» это не критично по следующим причинам:

- курс ориентирован на применение языка в типовых профессиональных ситуациях, а не на последовательное освоение понятий с нарастающей сложностью;
- каждая тема является относительно автономным практическим модулем (например, «Самопрезентация», «Составление документации», «Чтение технических инструкций»), и может осваиваться независимо от других;
- преподавание строится не на логике теоретической прогрессии, а на гибкой

адаптации под цели группы и текущие задачи студентов.

Вывод: низкие значения по topic flow и graph-based coverage отражают отклонение от структуры эталона, но не свидетельствуют о нарушении качества. Для таких дисциплин более важны показатели semantic coherence, relevance и semantic topic coverage, которые в данной реализации достигают высоких значений.

Таким образом, система может использо-

ваться как в задачах внутреннего контроля качества, так и для автоматизированного сопоставления и обновления дисциплин, поддержания преемственности и унификации содержания в рамках образовательных программ. Она позволяет автоматически выявлять курсы:

- с низкой тематической релевантностью,
- с избыточным или недостаточным покрытием,
- с нарушенной структурной логикой.

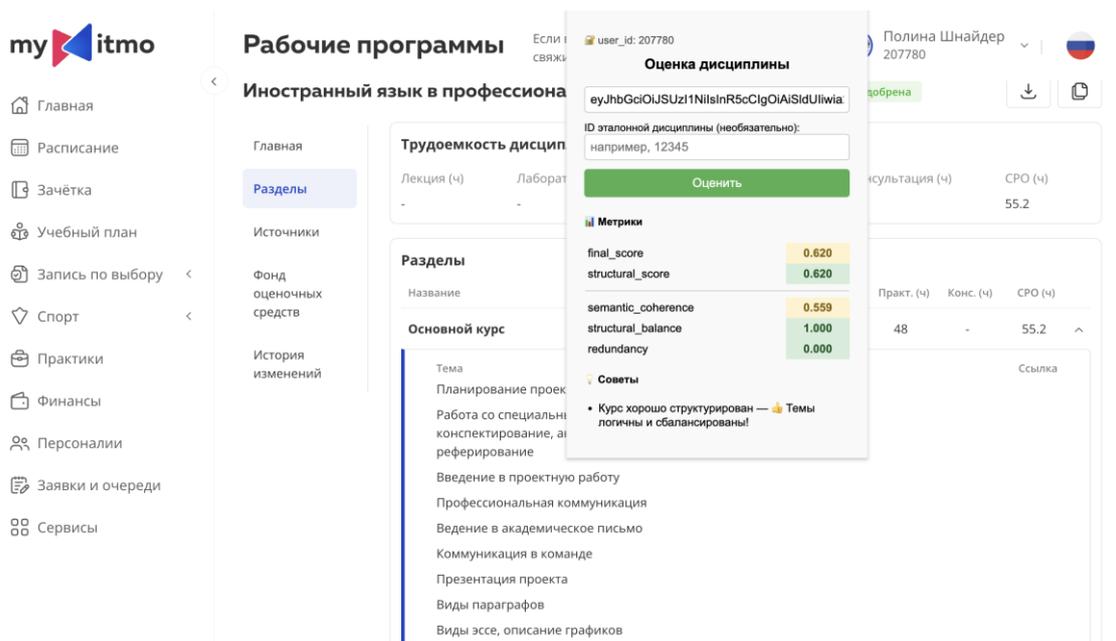


Рисунок 4 – Оценка дисциплины «Иностранный язык в профессиональной деятельности» без использования эталона

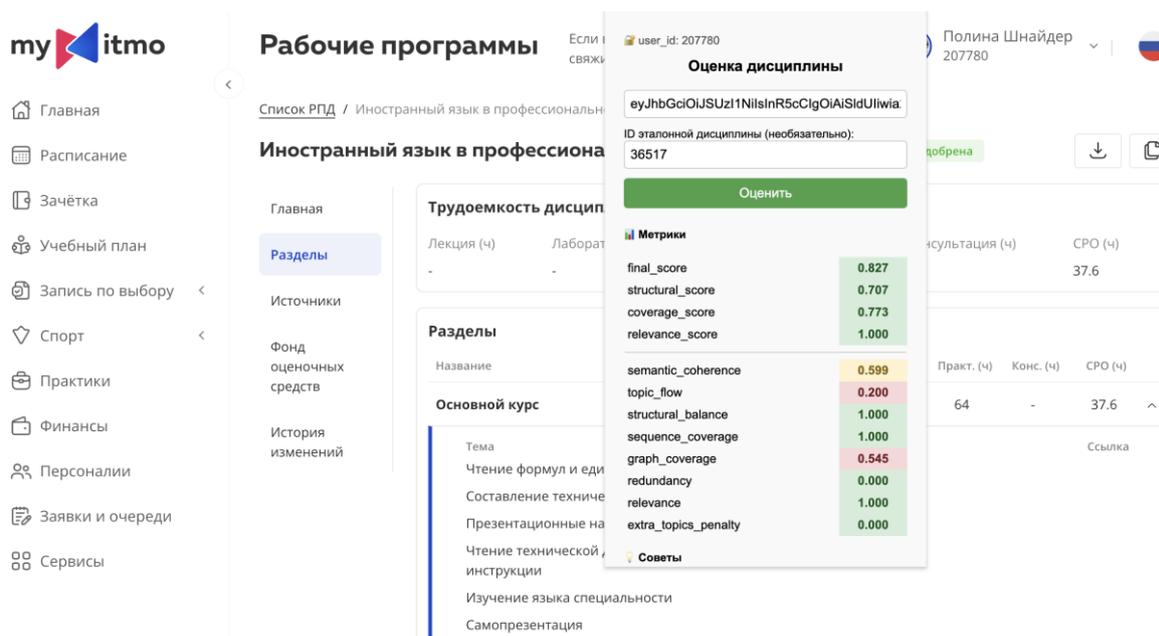


Рисунок 5 – Оценка дисциплины «Иностранный язык в профессиональной деятельности» с использованием эталона

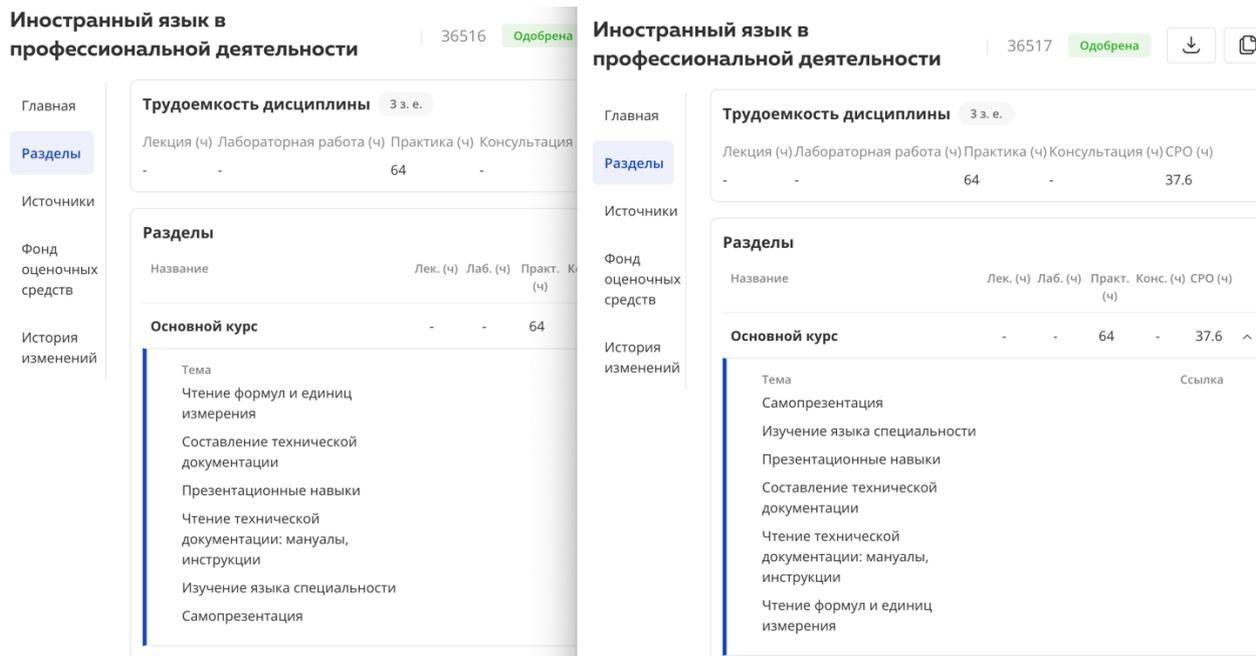


Рисунок 6 – Сопоставление структур сравниваемых дисциплин

Выводы и рекомендации. Предложенная система метрик обеспечивает автоматизированную количественную оценку учебных курсов на основе их структурной логики, полноты содержания и тематической релевантности по отношению к эталонной дисциплине. Подход продемонстрировал способность выявлять дисциплины с пропущенными ключевыми темами, избыточностью, фрагментированной структурой или отклонениями от педагогически оправданного порядка изложения.

Ключевыми преимуществами метода являются:

- масштабируемость – возможность оценки десятков и сотен курсов без участия экспертов;
- семантическая устойчивость – благодаря использованию эмбедингов, метод сглаживает различия в формулировках;
- воспроизводимость – оценки можно сравнивать между дисциплинами и версиями.

Вместе с тем подход имеет ряд ограничений:

- он ориентирован на структурные признаки, не учитывая глубину раскрытия тем, используемые методики преподавания и уровень подготовки студентов;
- полученные оценки не являются нормативными, а служат ориентиром: отклонения

от эталона могут быть осознанными и педагогически оправданными.

Таким образом, система не подменяет экспертную оценку, а выступает как инструмент аналитической поддержки преподавателей, методистов и администраторов.

Перспективы развития.

1) Интеграция с генеративными языковыми моделями для генерации структуры курсов и самопроверки моделей при создании содержания [9].

2) Формирование автоматизированной обратной связи преподавателю на основе сильных и слабых сторон структуры курса.

3) Расширение системы за счёт содержательных метрик, таких как глубина раскрытия, наличие оценочных средств, уровни когнитивной сложности.

4) Анализ изменений структуры во времени для отслеживания эволюции курсов и её влияния на качество.

5) Поддержка сопоставления и унификации дисциплин в рамках образовательных программ и сетевого взаимодействия вузов.

Таким образом, система может использоваться не только как средство контроля качества, но и как инструмент анализа, планирования и сопровождения учебных дисциплин, особенно в условиях цифровой трансформации образования.

Список источников

1. Шалкина Т. Н. Модель комплексной оценки качества электронных образовательных изданий и ресурсов // Педагогическая информатика. – 2013. – № 4. – С. 85–91.
2. Старыгина С. Д., Нуриев Н. К., Гарифьянов Н. Ф. Оценка качества объекта (учебного курса): построение модели, автоматизация расчётов, примеры реализации // Образовательные технологии и общество. – 2018. – Т. 21. – № 2. – С. 390–405.
3. Старыгина С. Д., Нуриев Н. К., Нургалиева А. А. Численная оценка качества учебных on-line курсов // Информатика и образование. – 2018. – № 7. – С. 68–76.
4. Богданова А. В., Глазова В. Ф., Коновалова Е. Ю. Интеллектуальные технологии оценки качества дистанционных учебных курсов в высшем образовании // Балтийский гуманитарный журнал. – 2017. – Т. 6. – № 1(18). – С. 82–86.
5. Chen X., Xie H., Tao X., Wang F. L., Cao J. Leveraging Text Mining and Analytic Hierarchy Process for the Automatic Evaluation of Online Courses // International Journal of Machine Learning and Cybernetics. – 2024. – Т. 15. – № 11. – С. 4973–4998. – DOI:10.1007/s13042-024-02203-6. – Текст: электронный. (In Eng.).
6. Yuan B., Hu J. An Exploration of Higher Education Course Evaluation by Large Language Models. – 2024. – DOI: 10.48550/arXiv.2411.02455. – Текст: электронный. (In Eng.).
7. Миннегалиева Ч. Б. Некоторые проблемы применения дистанционных образовательных технологий // Информационные технологии и системы. – 2013. – № 1 (70). – С. 54–58.
8. Erbisti B., Marzagão D. K., Braganholo V. An Extension to Kendall's Tau Metric to Evaluate Dissimilarities Between Data Series // Journal of the Brazilian Computer Society. – 2024. – Т. 30. – № 1. – URL: <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/jbcs/article/view/2803> (дата обращения 20.06.2025). – Текст: электронный. (In Eng.).
9. Wang S., Xu T., Li H., Zhang C., Liang J., Tang J., Yu P.S., Wen Q. Large Language Models for Education: A Survey and Outlook // arXiv preprint arXiv:2403.18105. – 2024. – URL: <https://arxiv.org/abs/2403.18105> (дата обращения 20.06.2025). – Текст: электронный. (In Eng.).

References

1. Shalkina T. N. A Model for Comprehensive Evaluation of the Quality of Electronic Educational Resources. *Pedagogicheskaya informatika*. 2013. No. 4. pp. 85–91. (In Russ.).
2. Sarygina S. D., Nuriev N. K., Garifyanov N. F. Evaluation of Course Quality: Model Development, Automation of Calculations, Implementation Examples. *Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo*. 2018. Vol. 21. No. 2. pp. 390–405. (In Russ.).
3. Sarygina S. D., Nuriev N. K., Nurgalieva A. A. Quantitative Assessment of Online Course Quality. *Informatika i Obrazovanie*. 2018. No. 7. pp. 68–76. (In Russ.).
4. Bogdanova A. V., Glazova V. F., Konovalova E. Yu. Intelligent Technologies for Evaluating the Quality of Distance Learning Courses in Higher Education. *Baltiiskii gumanitarnyi zhurnal*. 2017. Vol. 6. No. 1 (18). pp. 82–86. (In Russ.).
5. Chen X., Xie H., Tao X., Wang F. L., Cao J. Leveraging Text Mining and Analytic Hierarchy Process for the Automatic Evaluation of Online Courses. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. 2024. Vol. 15. No. 11. pp. 4973–4998. DOI:10.1007/s13042-024-02203-6.
6. Yuan B., Hu J. An Exploration of Higher Education Course Evaluation by Large Language Models. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2411.02455.
7. Minnegalieva Ch. B. Some Problems of Using Distance Learning Technologies. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy*. 2013. No. 1 (70). pp. 54–58. (In Russ.).
8. Erbisti B., Marzagão D.K., Braganholo V. An Extension to Kendall's Tau Metric to Evaluate Dissimilarities Between Data Series. *Journal of the Brazilian Computer Society*. 2024. Vol. 30. No. 1. Available at: <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/jbcs/article/view/2803>
9. Wang S., Xu T., Li H., Zhang C., Liang J., Tang J., Yu P.S., Wen Q. Large Language Models for Education: A Survey and Outlook. *arXiv preprint arXiv:2403.18105*. 2024. Available at: <https://arxiv.org/abs/2403.18105>

Антонов Александр Сергеевич / Antonov Aleksandr S.

ассистент, ведущий инженер / Assistant, Leading Engineer
исследовательский центр в сфере искусственного интеллекта «Сильный искусственный интеллект в промышленности» Университета ИТМО / Research Center «Strong Artificial Intelligence in Industry», ITMO University
Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А
E-mail: asantonov@itmo.ru

Бессмертный Игорь Александрович / Bessmertny Igor A.

доктор технических наук, профессор / D.Sc, Professor
профессор факультета программной инженерии и компьютерной техники / Professor of the Faculty of Software Engineering and Computer Technology
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» / ITMO University
Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А
E-mail: bessmertny@itmo.ru

Бредихин Артем Андреевич / Bredikhin Artem A.

аналитик управления промышленных проектов / Analyst of Industrial Projects Management
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» / St. Petersburg State Marine Technical University (SMTU)
Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д. 3
E-mail: Bredikhin@smtu.ru

Будрина Елена Викторовна / Budrina Elena V.

доктор экономических наук, профессор / D.Sc, Professor
заведующий кафедрой управления бизнес-технологиями / Head of the Department of Business Technology Management
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» / St. Petersburg State Marine Technical University (SMTU)
Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д. 3
E-mail: boudria@mail.ru

Горнова Галина Владимировна / Gornova Galina V.

доктор философских наук / D.Sc
доцент Института дизайна и урбанистики / Associate Professor of Institute of Design and Urban Studies
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» / ITMO University
Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А
E-mail: gornova@itmo.ru

Горшков Петр Вениаминович / Gorshkov Petr V.

аспирант / graduate student
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» / ITMO University
Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А
генеральный директор / General Director
акционерное общество «Универсальная трейдинговая платформа» / Universal Trading Platform JSC
E-mail: vip@consultagency.ru

Джанелидзе Михаил Георгиевич / Djanelidze Mikhail G.

кандидат экономических наук / PhD

ведущий научный сотрудник / Leading Research Fellow

Институт проблем региональной экономики РАН / Institute for Regional Economy Studies of the Russian Academy of Science

Санкт-Петербург, ул. Серпуховская, д. 38

E-mail: ipre-dj@yandex.ru

Иус Артем Данилович / Ius Artem D.

магистрант / master student

Санкт-Петербургский государственный экономический университет / Saint Petersburg State University of Economics

Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А

E-mail: iustema74@gmail.com

Клименков Сергей Викторович / Klimenkov Sergey V.

старший преподаватель / Senior Lecturer

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» / ITMO University

Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А

E-mail: serge.klimenkov@cs.ifmo.ru

Летенков Илья Алексеевич / Letenkov Ilya A.

магистрант / master student

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» / ITMO University

Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А

E-mail: ilya.letenkov@itmo.ru

Михолажина Юлия Константиновна / Mikholazhina Yulia K.

инженер / engineer

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» / St. Petersburg State Marine Technical University (SMTU)

Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д. 3

E-mail: Mikholazhina@smtu.ru

Окулова Ольга Игоревна / Okulova Olga I.

преподаватель / Lecturer

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» / HSE University

Санкт-Петербург, Кантемировская ул., д. 3А, корпус 1

стажер-исследователь / Research Assistant

Международная лаборатория экономики нематериальных активов НИУ ВШЭ / International Laboratory of Intangible-Driven Economy of HSE University

г. Пермь, Студенческая ул., д. 38

E-mail: ookulova@hse.ru

Трофимов Валерий Владимирович / Trofimov Valeriy V.

доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ / D.Sc, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation

профессор кафедры информатики / Professor of the Department of Computer Science

Санкт-Петербургский государственный экономический университет / Saint Petersburg State University of Economics

Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А

E-mail: tww@mail.ru

Хлопотов Максим Валерьевич / Khlopotov Maksim V.

кандидат технических наук / PhD

доцент факультета прикладной информатики / Associate Professor of the Faculty of Applied Computer Science

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» / ITMO University

Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А

E-mail: khlopotov@itmo.ru

Шакина Елена Анатольевна / Shakina Elena A.

кандидат экономических наук / PhD

заместитель декана факультета технологического менеджмента и инноваций / Deputy Dean of the Faculty of Technological Management and Innovation

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» / ITMO University

Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А

ведущий научный сотрудник Международной лаборатории экономики нематериальных активов / Leading Research Fellow of International Laboratory of Intangible-Driven Economy

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» / HSE University

г. Пермь, Студенческая ул., д. 38

E-mail: eshakina@itmo.ru

Шермадини Марина Владимировна / Shermadini Merina V.

кандидат экономических наук / PhD

старший преподаватель кафедры инновационного менеджмента в отраслях промышленности / Senior Lecturer of Department of Innovative Management in Industrial Sectors

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» / RUDN University

г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

доцент / Associate Professor

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» / MIREA – Russian Technological University

г. Москва, ул. Тверская, д. 11.

E-mail: essmd@yandex.ru

Шестакова Наталия Николаевна / Shestakova Natalia N.

кандидат технических наук, доцент / PhD, Associate Professor

ведущий научный сотрудник / Leading Research Fellow

Институт проблем региональной экономики РАН / Institute for Regional Economy Studies of the Russian Academy of Science

Санкт-Петербург, ул. Серпуховская, д. 38

E-mail: nnshestakova@gmail.com

Шнайдер Полина Анатольевна / Shnaider Polina A.

Frontend разработчик / Frontend Developer

HelloFresh SE

Германия, Берлин, Принценштрассе, д. 89 / Germany, Berlin, Prinzenstraße, 89

E-mail: beatrix.lincoln@gmail.com