

АКАДЕМИЧЕСКАЯ НАУКА

научно-правовой журнал

№ 1 (январь-март) 2026 год



Учредитель: Грудцына Людмила Юрьевна

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и зарегистрирован в Научной электронной библиотеке E-library

Журнал основан в 2023 году

ISSN 3034-4042 (online)

Выходит один раз в три месяца

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство о регистрации СМИ-Эл № ФС 77-85783 от 3 августа 2023 г.)

Издатель: Издательство "ЮРКОМПАНИ"

АКАДЕМИЧЕСКАЯ НАУКА

научно-правовой журнал

научный журнал, посвященный актуальным проблемам юридической науки и практики, а также законотворческой и правоприменительной деятельности, вопросам образования, социологии и педагогики

Главный редактор: Усанов Владимир Евгеньевич

Первый заместитель главного редактора: Шайхуллин Марат Селирович

Заместитель главного редактора: Рыжов Валерий Борисович

Председатель Редакционного совета: Иванова Светлана Анатольевна

Корректор: Козлова Вера Ивановна

Компьютерная верстка: Ерошина Екатерина Андреевна

Дизайн: Ерцев Роман Александрович

Адрес офиса редакции: 121596, г. Москва, ул. Горбунова, д. 2, стр. 3. Офис Б 218. Этаж 2. Бизнес-центр “Гранд Сетунь Плаза”.

Для писем: 121614, г. Москва, ул. Крылатские Холмы, д. 28, к. 57.

Home page: www.academ.law-books.ru E-mail: info@law-books.ru

WhatsApp: +7-903-672-55-88

Многоканальный (по России): +8-800-700-45-88

При использовании опубликованных материалов ссылка на журнал «Академическая наука» обязательна. Материалы, опубликованные в журнале, могут быть размещены в электронных правовых базах и справочных системах. Все присланные рукописи проходят обязательное рецензирование. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: *Сангаджиев Бадма Владимирович*, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой конституционного и международного права ФГБОУ ВО «Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России)» (г. Москва, Россия)

Заместитель главного редактора: *Гандалоев Руслан Баширович*, кандидат политических наук, Почётный работник воспитания и просвещения Российской Федерации, Заслуженный юрист в Республике Ингушетии, член-корреспондент Российской академии естественных наук, заместитель главного редактора научного журнала «Образование и право»

Научная специальность: 5.1.1. «Теоретико-исторические правовые науки»

Грудцына Людмила Юрьевна, доктор юридических наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО «Российская государственная академия интеллектуальной собственности», профессор кафедры конституционного и международного права ФГБОУ ВО «Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России)», Почетный адвокат России, эксперт РАН

Мионов Василий Олегович, доктор юридических наук, профессор, профессор кафедры «Государственное право и управление таможенной деятельностью» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

Пашенцев Дмитрий Алексеевич, доктор юридических наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации. И.о. заведующего отделом теории права и межотраслевых исследований Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, профессор Московского городского педагогического университета

Научная специальность: 5.1.2. «Публично-правовые (государственно-правовые) науки»

Булаков Олег Николаевич, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой конституционного и международного права Российского государственного гуманитарного Университета

Сангаджиев Бадма Владимирович, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой конституционного и международного права ФГБОУ ВО «Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России)»

Шайхуллин Марат Селирович, доктор юридических наук, доцент, профессор кафедры уголовного права и криминологии ФГБОУ ВО «Уфимский юридический институт МВД России» (г. Уфа, Россия)

Научная специальность: 5.5.1. «История и теория политики»

Койбаев Борис Георгиевич, доктор политических наук, профессор, профессор кафедры философии и политологии, ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова»

Сампиев Исрапил Магомедович, доктор политических наук, профессор, заведующий кафедрой социологии и политологии, ФГБОУ ВО «Ингушский государственный университет»

Чекмарев Эдуард Владимирович, доктор политических наук, доцент, профессор кафедры государственного и муниципального управления, ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»

Эбзеев Ахмат Аскербиевич, доктор политических наук, доцент, помощник ректора по международному сотрудничеству ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ)

Научная специальность: 5.5.2. «Политические институты, процессы, технологии»

Керимов Александр Алиевич, доктор политических наук, доцент, заведующий кафедрой политических наук, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

Умаров Мурад Мухамедович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Физическое воспитание» Физкультурно-оздоровительного факультета ФГБОУ ВО Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (МГТУ) — национальный исследовательский университет

Усманов Рафик Хамматович, доктор политических наук, профессор, профессор кафедры востоковедения и политических наук, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева»

Шебзухова Фатима Айсовна, доктор философских наук, профессор, заведующая кафедрой общественно-научного образования РГБУ ДПО «Карачаево-Черкесский республиканский институт повышения квалификации работников образования»

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief: *Sangadzhiev Badma Vladimirovich*, Doctor of Law, Professor, Head of the Department of Constitutional and International Law of the All-Russian State University of Justice (RPA Ministry of Justice of Russia) (Moscow, Russia)

Deputy Editor-in-Chief: *Gandaloev Ruslan Bashirovich*, Candidate of Political Sciences, Honorary Worker of Education and Education of the Russian Federation, Honored Lawyer in the Republic of Ingushetia, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Deputy Editor-in-Chief of the scientific journal «Education and Law»

Scientific specialty: 5.1.1. «Theoretical and historical legal sciences»

Grudtsyna Lyudmila Yuryevna, Doctor of Law, Professor, Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Academy of Intellectual Property,» Professor of the Department of Constitutional and International Law of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «All-Russian State University of Justice (RPA Ministry of Justice of Russia),» Honorary Lawyer of Russia, RAS expert

Mironov Vasily Olegovich, Doctor of Law, Professor, Professor of the Department of State Law and Management of Customs Activities, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs

Pashentsev Dmitry Alekseevich, Doctor of Law, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation. And about. Head of the Department of Theory of Law and Intersectoral Studies of the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Professor of Moscow City Pedagogical University

Scientific specialty: 5.1.2. «Public Law (State Law) Sciences»

Bulakov Oleg Nikolaevich, Doctor of Law, Professor, Head of the Department of Constitutional and International Law of the Russian State University for the Humanities

Sangadzhiev Badma Vladimirovich, Doctor of Law, Professor, Head of the Department of Constitutional and International Law of the All-Russian State University of Justice (RPA of the Ministry of Justice of Russia)

Shaikhullin Marat Selirovich, Doctor of Law, Associate Professor, Professor, Department of Criminal Law and Criminology, Federal State Educational Institution of Higher Education «Ufa Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia» (Ufa, Russia)

Scientific specialty: 5.5.1. «History and Theory of Politics»

Koybaev Boris Georgievich, Doctor of Political Sciences, Professor, Professor of the Department of Philosophy and Political Science, FSBEI HE «North Ossetian State University named after Kosta Levanovich Khetagurov»

Sampiev Israpil Magometovich, Doctor of Political Sciences, Professor, Head of the Department of Sociology and Political Science, FSBEI HE «Ingush State University»

Chekmarev Eduard Vladimirovich, Doctor of Political Science, Associate Professor, Professor, Department of State and Municipal Administration, Plekhanov Russian University of Economics

Ebzeev Akhmat Askerbievich, Doctor of Political Sciences, Associate Professor, Assistant Rector for International Cooperation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Biotechnological University» (ROSBIOTECH)

Scientific specialty: 5.5.2. «Political institutions, processes, technologies»

Kerimov Alexander Alievich, Doctor of Political Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Political Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin» (Ural Federal University)

Umarov Murad Mukhamedovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Education, Faculty of Physical Education and Health, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (MSTU) — National Research University

Usmanov Rafik Khammatovich, Doctor of Political Sciences, Professor, Professor of the Department of Oriental Studies and Political Sciences, FSBEI HE «Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev»

Shebzukhova Fatima Aisovna, Doctor of Philosophy, Professor, Head of the Department of Social and Scientific Education of the Russian State Budgetary Institution DPO «Karachay-Cherkess Republican Institute for Advanced Training of Educators»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель: **С.А. Иванова** – доктор юридических наук, профессор, заместитель первого проректора по учебной и методической работе, профессор Департамента Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, эксперт РАН, Почетный адвокат России

Э.Б. Абдуллин — доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой методологии и технологий педагогики музыкального образования, заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Музыкальное искусство и образование на протяжении жизни» Института изящных искусств Московского педагогического государственного университета, академик-секретарь отделения педагогики и психологии Международной академии наук педагогического образования, действительный член Международной академии наук высшей школы, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области образования

С.А. Барков — доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической социологии и менеджмента социологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Ж.А. Бокоев — кандидат юридических наук, доцент кафедры конституционного и административного права юридического факультета Кыргызского национального университета имени Жусупа Баласагына, Член Совета по судебной реформе при президенте Кыргызской Республики

А.П. Галоганов – доктор юридических наук, Заслуженный юрист России, президент Адвокатской палаты Московской области, президент Федерального союза адвокатов России, вице-президент Международного союза (содружества) адвокатов

В.В. Гребенников – доктор юридических наук, профессор, Заслуженный юрист России, заведующий кафедрой судебной власти, правоохранительной и правозащитной деятельности Юридического института РУДН

В.Н. Жуков – доктор юридических наук, доктор философских наук, профессор, профессор кафедры теории государства и права и политологии юридического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, главный научный сотрудник сектора философии права, истории и теории государства и права Института государства и права Российской академии наук

С.Д. Каракозов — доктор педагогических наук, профессор, проректор, директор Института математики и информатики Московского педагогического государственного университета

В.В. Комарова – доктор юридических наук, профессор, заведующая кафедрой конституционного и муниципального права РФ Московского государственного юридического университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА)

Г.Б. Мирзоев – доктор юридических наук, профессор, президент Гильдии российских адвокатов, ректор Российской академии адвокатуры и нотариата, академик РАЕН, Почетный доктор Бриджпортского Университета (США), Почётный доктор философии университета «EuroSwiss»

Р.М. Мырзалимов — доктор юридических наук, профессор кафедры конституционного и административного права юридического факультета Кыргызского национального университета имени Жусупа Баласагына, Член Редакционного совета Вестника Конституционной палаты Верховного суда Кыргызской Республики

Н.Г. Осипова – доктор социологических наук, профессор, декан социологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, действительный член Российской академии социальных наук

Н.К. Потоцкий – доктор юридических наук, профессор, профессор Института международного права и экономики имени А.С. Грибоедова

Л.А. Рапацкая — доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры методологии и технологий педагогики музыкального образования Института изящных искусств Московского педагогического государственного университета, Заслуженный работник Высшей школы Российской Федерации

К.Х. Рахимбердин — доктор юридических наук, председатель правления Палаты юридических консультантов Восточно-Казахстанской области, профессор кафедры уголовного права и уголовного процесса ВКГУ им. С. Аманжолова, обладатель звания «Лучший преподаватель вуза» Министерства образования и науки Республики Казахстан (2007 г., 2013 г.).

Б.В. Сангаджиев – доктор юридических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН, профессор кафедры судебной власти, правоохранительной и правозащитной деятельности Юридического института РУДН

Б.С. Эбзеев – доктор юридических наук, профессор, судья Конституционного Суда РФ (в отставке), член ЦИК России

Н.Д. Эриашвили – доктор экономических наук, кандидат юридических наук, кандидат исторических наук, профессор, профессор кафедры гражданско-правовых дисциплин Академии Генеральной прокуратуры РФ, профессор кафедры предпринимательского и трудового права Института государственного управления и права Государственного университета управления.

EDITORIAL BOARD

Chairman: **S.A. Ivanova** — Doctor of Law, Professor, Deputy First Vice-Rector for Academic and Methodological Work, Professor of the Department of Finance University under the Government of the Russian Federation, Expert of the Russian Academy of Sciences, Honorary Lawyer of Russia

E.B. Abdullin — Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Methodology and Technologies of Pedagogy of Music Education, Head of the UNESCO Department «Musical Art and Lifelong Education» of the Institute of Fine Arts of Moscow State Pedagogical University, Academician-Secretary of the Department of Pedagogy and Psychology of the International Academy of Sciences of Pedagogical Education, full member of the International Academy of Higher School, Laureate of the International of the Russian

S.A. Barkov — doctor of sociological sciences, professor, head of the Department of economic sociology and management of the sociological faculty of Moscow Lomonosov State University

Zh.A. Bokoev — Candidate of Legal Sciences, Associate Professor of Constitutional and Administrative Law, Faculty of Law, Zhusup Balasagyn Kyrgyz National University, Member of the Council on Judicial Reform under the President of the Kyrgyz Republic

A.P. Haloganov — Doctor of Law, Honored Lawyer of Russia, President of the Moscow Region Bar, President of the Federal Union of Lawyers of Russia, Vice President of the International Union (Commonwealth) of Lawyers

V.V. Grebennikov — Doctor of Law, Professor, Honored Lawyer of Russia, Head of the Department of Judicial Power, Law Enforcement and Human Rights Activities of the RUDN Law Institute

V.N. Zhukov — Doctor of Law, Doctor of Philosophy, Professor, Professor, Department of State Theory and Law and Political Science, Faculty of Law, Lomonosov Moscow State University, Chief Researcher, Philosophy of Law, History and State Theory and Law, Institute of State and Law, Russian Academy of Sciences

S.D. Karakozov — Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Vice-Rector, Director of the Institute of Mathematics and Informatics of Moscow Pedagogical State University

V.V. Komarova — a doctor of jurisprudence, professor managing department of the constitutional and municipal right of the Russian Federation of the Moscow state legal university of O.E. Kutafin (MGYuA)

G.B. Mirzoev — Doctor of Law, Professor, President of the Guild of Russian Lawyers, Rector of the Russian Academy of Lawyers and Notaries, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Honorary Doctor of Bridchport University (USA), Honorary Doctor of Philosophy of the University «EuroSwiss»

R.M. Myrzalimov — Doctor of Law, Professor, Department of Constitutional and Administrative Law, Faculty of Law, Zhusup Balasagyn Kyrgyz National University, Member of the Editorial Council of the Bulletin of the Constitutional Chamber of the Supreme Court of the Kyrgyz Republic

N.G. Osipova — Doctor of Sociological Sciences, Professor, Dean of the Sociological Faculty of Moscow State University named after M.V. Lomonosov, full member of the Russian Academy of Social Sciences

N.K. Pototsky — Doctor of Law, Professor, Professor of the A.S. Griboedov Institute of International Law and Economics

L.A. Rapatskaya — Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor, Department of Methodology and Technologies of Pedagogy of Music Education, Institute of Fine Arts, Moscow State Pedagogical University, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation

K.Kh. Rakhimberdin — Doctor of Law, Chairman of the Board of the Chamber of Legal Advisors of the East Kazakhstan Region, Professor of the Department of Criminal Law and Criminal Procedure, VKSU named after S. Amanzholova, holder of the title «Best University Teacher» of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (2007, 2013)

B.V. Sangadzhiev — Doctor of Law, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Judicial Power, Law Enforcement and Human Rights Activities of the RUDN Law Institute

B.S. Ebzeev — Doctor of Law, Professor, Judge of the Constitutional Court of the Russian Federation (retired), Member of the CEC of Russia

N.D. Eriashvili — Doctor of Economics, Candidate of Legal Sciences, Candidate of Historical Sciences, Professor, Professor of the Department of Civil Law Disciplines of the Academy of the General Prosecutor's Office of the Russian Federation, Professor of the Department of Entrepreneurial and Labor Law of the Institute of Public Administration and Law of the State University of Management

СОДЕРЖАНИЕ:

ПОЛИТИКА И ПРАВО

- Бойцева А.С., Лозина В.А. * Проблемы цифровизации социальной сферы 9
Закусило А.О. * Меры предотвращения преступлений против мира и безопасности человечества . . . 13
Штыкова Ю.Н. * Проблемные вопросы оценки инвестиционных проектов 16
Исхаков И.И. * Рассмотрение и внедрение технологии 3D-печати в российском строительстве 23

ПРАВА ЧЕЛОВЕКА

- Юлова А.М. * Вопросы оказания бесплатной юридической помощи государственными юридическими бюро 27

ИСТОРИЯ ГОСУДАРСТВА И ПРАВА ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

- Погорелов Н.В., Борисова Е.А. * Проблема выбора и адаптации систем управления доходами: сравнительный анализ отечественных и зарубежных решений для гостиничного бизнеса 32

ИСТОРИЯ ГОСУДАРСТВА И ПРАВА РОССИИ

- Молчанов С.С. * Плакаты как инструмент мобилизации и репрезентации роли железнодорожников и паровозов в годы Великой Отечественной Войны 37
Хусаинова А.Р., Кизина И.Д. * Вариант цифрового двойника показателей качества продукции установки подготовки нефти 43

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ

- Смирнов В.А., Сандов А.М. * Надёжность микроэлектронных измерительных систем в условиях экстремально низких температур 48
Власов Н.Е. * Центры обработки данных как объект аудита информационной безопасности 52
Зырянов Д.А. * Анализ пригодности различных архитектур нейронных сетей на синтетическом наборе данных для задачи выбора маршрута 57
Арутюнова Т.Р., Кисляк Е.Р. * Инновационные методы защиты зданий и сооружений в сейсмоопасных зонах 64

ЮРИДИЧЕСКИЙ АРХИВ

- Легаев А.И., Волкова Н.Н., Дэрк В.А., Чащилова В.Д. * Исследования влияния температуры сушки микрокристаллической целлюлозы после перекисной отбелки на показатель белизны 68
Киселева А.Ю. * Сравнительный анализ конструкций антенн для автономных георадиолокационных исследований ледников Антарктиды 74
Корячко М.В., Варламов Д.О., Богатенков С.А. * Оценка тепловых нагрузок и деградации микроэлектронных межсоединений при нестационарном нагреве 83
Мураль Д.В., Мартыненко Т.В. * Квантово-вдохновлённые алгоритмы для задач классификации высокоразмерных данных 90

НАУЧНЫЙ ВОПРОС

- Мустаев Л.М., Агапов М.Ю., Русаков А.В., Глущенко В.А., Минасов Ш.М. * Алгоритмы и методы отслеживания и уточнения местоположения в закрытых пространствах сложной геометрии 95
Даловский К.Д. * Характеристика состава и структуры волокнистых материалов из сверхвысокомолекулярного полиэтилена в интересах получения композитов 102
Кисиева З.А., Имамали М.Н.Н., Бекоева Д.А., Усаченко Д.П. * Патогенность гриба пенициллина по отношению к цитрусовому красному клещу 108
Гумерова Л.А. * Методы диагностики остеопороза: их преимущества и недостатки 116
Поплавский Н.А. * Сравнительный анализ эффективности одностадийного и многостадийного гидравлического разрыва пласта в горизонтальных скважинах 120
Готвальд Е.Д., Зайцева С.П., Казакова Е.Д., Тютюнькова М.В. * Разработка технологической схемы очистки сточных вод кондитерских предприятий 124
Хохряков Н.А. * Автоматизация расчета лакокрасочных материалов для трубопроводов с использованием Dupamo в Revit 130
Денисенко М.Ю., Ерохина С.А., Лобынцева И.Н. * Технологический процесс производства сосисок с наполнителем 134

CONTENTS:

POLITICS AND LAW

- Boytsseva A.S., Lozina V.A. * Problems of digitalization in the social sphere 9
- Zakusilo A.O. * Measures to prevent crimes against peace and human security 13
- Shtykova Y.N. * Problem issues of investment project evaluation 16
- Iskhakov I.I. * Consideration and implementation of 3D printing technology in the Russian construction sector 23

HUMAN RIGHTS

- Yulova A.M. * Issues of Providing Free Legal Aid by State Law Firms 27

HISTORY OF THE STATE AND LAW OF FOREIGN COUNTRIES

- Pogorelov N.V., Borisova E.A. * The problem of selection and adaptation of revenue management systems: a comparative analysis of domestic and foreign solutions for the hospitality industry 32

HISTORY OF THE STATE AND LAW OF RUSSIA

- Molchanov S.S. * Posters as a means of mobilization and reflection of the role of railway workers and locomotives during the Great Patriotic War 37
- Khusainova A.R., Kizina I.D. * Option of digital twin of product quality indicators of oil processing unit 43

CONTROL THEORY

- Smirnov V.A., Sandov A.M. * Reliability of microelectronic measurement systems in extremely low temperature conditions 48
- Vlasov N.E. * Data centers as an object of information security audit 52
- Zyryanov D.A. * Analysis of the suitability of various neural network architectures on a synthetic dataset for the route selection task 57
- Arutyunova T.R., Kislyak E.R. * Innovative methods of protecting buildings and structures in earthquake-prone areas 64

LEGAL ARCHIVE

- Legaev A. I., Volkova N. N., Derk V. A., Chashchilova V. D. * Studies of the influence of drying temperature microcrystalline cellulose after peroxidation bleaching on the whiteness index 68
- Kiseleva A.Yu. * Comparative analysis of antenna designs for autonomous georadiolocation studies of Antarctic glaciers 74
- Koryachko M.V., Varlamov D.O., Bogatenkov S.A. * Assessment of thermal loads and degradation of microelectronic interconnects with unsteady heating 83
- Mural D.V., Martynenko T.V. * Quantum-inspired algorithms for high-dimensional data classification 90

SCIENTIFIC QUESTION

- Mustaev L.M., Agapov M.YU., Rusakov A.V., Glushchenko V.A., Minasov Sh.M. * Algorithms and methods for tracking and clarifying locations in enclosed spaces of complex geometry 95
- Dalovskiy K.D. * Characteristics of the composition and structure of fibrous materials from ultra-high molecular weight polyethylene in the interests of obtaining composites 102
- Kisieva Z.A., Imamali M.N.N., Bekoeva D.A., Usachenko D.P. * Pathogenicity of penicillin fungus against citrus red mite 108
- Gumerova L.A. * Methods of diagnosis of osteoporosis: their advantages and disadvantages 116
- Poplavsky N.A. * Comparative analysis of the efficiency of single-stage and multi-stage hydraulic fracturing in horizontal wells 120
- Gotvald E.D., Zaytseva S.P., Kazakova E.D., Tyutyunkova M.V. * Development of a technological scheme for treatment of waste water of confectionery enterprises 124
- Khokhryakov N.A. * Automation of paint and varnish material calculation for pipelines using Dynamo in Revit 130
- Denisenko M.Yu., Erokhina S.A., Lobyntseva I.N. * Technological process for producing sausages with filler 134

ПОЛИТИКА И ПРАВО

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-9-12

БОЙЦЕВА Анастасия Сергеевна,

магистрант,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия,

e-mail: nastyabijtceva.ru@gmail.com

ЛОЗИНА Вероника Алексеевна,

магистрант,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия,

e-mail: veronika_lozina@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ

Аннотация. В статье рассматриваются процессы преобразования сферы социальной поддержки в условиях всеобщей цифровизации. Цифровые технологии, внедряемые в государственное управление, способствуют повышению прозрачности и эффективности предоставления социальных услуг, однако одновременно формируют целый ряд новых вызовов. Быстрое развитие цифровых платформ создает дополнительную нагрузку на негосударственные организации и специалистов, увеличивая требования к качеству их работы и компетентности. Особое внимание уделяется рискам, связанным с неразвитостью нормативной базы, недостатком информирования граждан о возможностях получения помощи и сложностями доступа для малообеспеченных и социально уязвимых групп. Рассматриваются примеры успешной автоматизации — Портал госуслуг, АИС «МФЦ», ЕГИССО — которые позволили ускорить обработку обращений и повысить доступность персональных сведений о мерах поддержки. При этом сохраняются проблемы с заявительным принципом, необходимостью сбора документов и разрозненностью ведомств. В статье акцентируется внимание на необходимости комплексного подхода к цифровизации: создание суперсервисов, автоматизация сбора информации и учет жизненных ситуаций граждан призваны снизить влияние человеческого фактора и повысить персонализацию услуг. Важно обеспечить высокий уровень защиты персональных данных, учитывая мировой опыт и необходимость развития правового регулирования. Автоматизация должна строиться на этических принципах, чтобы не создавать новых форм дискриминации и сохранять доступность обратной связи для граждан. Выводы статьи подчеркивают приоритет устранения цифровых барьеров, адаптации платформ для особых категорий граждан и формирования справедливой, устойчивой системы социальной поддержки. Так цифровизация социальной сферы будет эффективной для населения.

Ключевые слова: социальная сферы, социальные услуги, цифровизации, проблемы, социальная поддержка, вызовы, государственные органы, социальная помощь.

BOYTSOVA Anastasia Sergeevna,

Master's student,

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

St. Petersburg, Russia

LOZINA Veronika Alekseevna,

Master's student,

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

St. Petersburg, Russia

PROBLEMS OF DIGITALIZATION IN THE SOCIAL SPHERE

Annotation. This article examines the processes of transformation in the field of social support in the context of widespread digitalization. Digital transformation in public administration enhances service delivery transparency and operational efficiency while simultaneously presenting novel challenges in social

welfare administration. The proliferation of digital platforms imposes heightened performance standards and competency requirements on non-governmental entities and social welfare practitioners. Critical vulnerabilities emerge from regulatory framework inadequacies, limited public awareness of available assistance programs, and accessibility barriers faced by economically disadvantaged and vulnerable populations. Notable implementations, including the State Services Portal, Multi-Function Center Information System, and Unified Social Security Database, demonstrate successful digitalization outcomes through expedited application processing and improved accessibility of personalized support information. Nevertheless, there remain problems related to the application-based principle, the need to collect documents, and the fragmentation of departments. The article emphasizes the need for a comprehensive approach to digitalization: the creation of super-services, automation of information collection, and consideration of citizens' life situations are intended to reduce the impact of the human factor and increase the personalization of services. It is important to ensure a high level of personal data protection, taking into account global experience and the need for the development of legal regulation. Automation must be built on ethical principles in order not to create new forms of discrimination and to maintain the accessibility of feedback for citizens. The article concludes by highlighting the priority of eliminating digital barriers, adapting platforms for special categories of citizens, and forming a fair, sustainable system of social support. In this way, digitalization of the social sphere will be effective for the population.

Key words: social sphere, social services, digitalization, problems, social support, challenges, government agencies, social assistance.

Преобразования, происходящие в условиях цифровизации, меняют подходы к предоставлению социальных услуг. Введение новых технологий в государственное управление способствует повышению эффективности взаимоотношений между гражданами и органами власти. Вместе с тем быстрое внедрение цифровых решений создает дополнительную нагрузку на негосударственные организации, формируя перед ними новые требования по контролю за качеством предоставляемых услуг. Важность прогнозирования потенциальных рисков в этот период обусловлена необходимостью выявления слабых мест и предотвращения тех негативных последствий, которые могут возникать при недостаточной подготовке специалистов или недостаточной информированности населения о возможностях получения поддержки. Остается актуальной проблема неkoordinированности процедур начисления и оформления льгот, что особенно осложняет положение лиц, оказавшихся в трудной жизненной ситуации. Недостаточная информационная поддержка для граждан приводит к тому, что многие формы социальной помощи остаются недоступными или малоизвестными. Кроме того, от качества работы специалистов во многом зависит эффективность всей системы: случаи профессиональной некомпетентности и нарушения этических норм отрицательно сказываются на доверии людей к институтам социальной поддержки [1, с. 145].

Реформирование системы социальной поддержки демонстрирует стремление повысить ее эффективность за счет внедрения единой системы, охватывающей все регионы страны. Такой подход упрощает не только сам процесс оказания услуг, но и делает его более прозрачным и доступным для всех граждан. Успешные примеры подобной автоматизации можно наблюдать на примере Портала государственных услуг Российской Федерации и АИС «МФЦ». Эти решения ми-

нимизируют человеческий фактор, способствуют ускорению обработки обращений и экономят время пользователей. Существенную роль в информировании населения играет Единая государственная информационная система социального обеспечения (ЕГИССО) [2]. Благодаря этой платформе у граждан появилась возможность отслеживать актуальные данные о мерах социальной поддержки и иметь персональный доступ к сведениям о предоставляемых выплатах через личный кабинет. Тестовый режим работы ЕГИССО на данный момент ограничивает её функциональность, однако перспективы автоматического определения жизненной ситуации клиента закладывают новые стандарты в сфере социальной защиты. Несмотря на это, система по-прежнему строится на заявительном принципе: предполагается личное обращение и сбор многочисленных документов, часто оформляемых в разных ведомствах. Такие условия явно требуют дальнейшей модернизации с учетом продолжающейся цифровизации и изменяющихся потребностей различных социальных групп, что обуславливает необходимость трансформации существующего порядка предоставления поддержки [3, с. 88].

Внедрение цифровой экосистемы выступает ключевым механизмом оптимизации деятельности территориальных органов социального обеспечения в сфере начисления льгот и пособий. Развертывание автоматизированных суперсервисов минимизирует влияние субъективных факторов, связанных как с профессиональной компетентностью персонала, так и с территориальной доступностью учреждений для маломобильных групп населения. Принципиальное значение приобретает смещение ответственности за документационное обеспечение с граждан на государственные структуры при одновременной персонализации предоставляемых услуг. Масштабный проект по созданию 25 суперсервисов призван охватить широкий спектр социальных

потребностей населения [4, с. 138].

При очевидных преимуществах цифровой трансформации процесс сопряжен с комплексом потенциальных рисков, прогнозирование которых затруднено ввиду их возможного проявления на различных этапах имплементации. Приоритетное внимание уделяется вопросам защиты персональных данных, что обуславливает необходимость усиленного контроля со стороны государственных структур и разработчиков программного обеспечения. Формирование эффективной системы правового регулирования выступает определяющим фактором минимизации рисков в условиях экспоненциального роста числа пользователей информационной системы и увеличения объема обрабатываемых конфиденциальных данных. Международный опыт показывает, что формирование привычки к цифровому взаимодействию населения с государством требует времени и продуманной политики. Ярким примером служит Великобритания, ставшая лидером цифровизации уже в 2016 году и стремящаяся сделать электронные государственные сервисы частью повседневной жизни.

Важной характеристикой подобной цифровизации становится влияние на этические и технические стороны жизни граждан. Развитие автоматических систем, включая искусственный интеллект, для оценки благосостояния ставит под вопрос соблюдение прав человека. Применение автоматизированных систем взыскания задолженностей, опробованных в Великобритании и США, может негативно сказаться именно на социально незащищенных слоях общества, усугубляя их материальное положение. Так, при создании национального решения необходимо учитывать многоаспектный подход, акцентируя внимание на всесторонней адаптации системы под реальные потребности населения [5, с. 60].

Кроме того, при переходе на электронное взаимодействие с органами социальной поддержки возникает сложность получения обратной связи. Жалобы и запросы на корректировку выплат становятся труднее реализуемыми, так как решение принимает автоматизированная система,

действующая по закреплённому алгоритму. Любая ошибка в подаче документов затрудняет не только процесс исправления, но и возможность отмены ошибочного решения, что требует дополнительного нормативного регулирования и совершенствования пользовательских сценариев оказания услуг.

Главной задачей создания и совершенствования цифровых сервисов является оптимизация, облегчение взаимодействия пользователя и государственных учреждений. Создание таких платформ должно в значительной степени облегчить населению доступ к различным льготам, пособиям и выплатам. Однако население, более остро нуждающееся в оказании помощи, зачастую не владеет навыками пользования цифровыми источниками, имеют ограниченные возможности здоровья. Поэтому для них требуется либо специальные сервисы, либо специальные возможности, облегчающие пользование цифровой государственной поддержкой. Полный переход на цифровое обеспечение может как облегчить предоставление и получение помощи, так и, наоборот, может привести к появлению сложно решаемых проблем, дискриминации, зависящей от заложенных в систему социальной поддержки этических норм и принципов [6, с. 49].

Таким образом, цифровизация социальной сферы открывает значительные возможности для повышения эффективности, прозрачности и доступности государственных услуг, однако одновременно формирует новые вызовы для всех участников этой системы. Устранение барьеров для наиболее уязвимых групп населения, обеспечение информационной и технической поддержки, совершенствование нормативного регулирования, а также повышение этических стандартов должны стать приоритетными направлениями дальнейшего развития цифровых платформ. Только комплексный подход с учетом реальных потребностей граждан позволит сформировать устойчивую и справедливую систему социальной поддержки в условиях продолжающихся цифровых преобразований.

Список литературы:

[1] Гавриленко О.В. Цифровые технологии социального контроля: перспективы и социальные последствия их внедрения / О.В. Гавриленко // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. — 2022. — Т. 28, № 1. — С. 145–163.

[2] Единая государственная информационная система социального обеспечения. URL: <http://egisso.ru/site/client/#/> (дата обращения: 25.11.2025).

[3] Зыкова Н.Н. Цифровая трансформация в социальной сфере: тенденции и перспективы / Н.Н. Зыкова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. — 2023. — № 1(56). — С. 88–96.

[4] Кривцова Е. В. Цифровая трансформация в сфере социального обеспечения молодежи: преимущества, проблемы и риски / Е. В. Кривцова, Н. А. Канина // Профессиональное образование в России и за рубежом. — 2022. — № 1 (45). — С. 137–144.

[5] Романова Н.В. Цифровизация услуг в социальной сфере: проблемы и перспективы / Н.В. Романова // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. — 2020. — № 1(31). — С.

[6] Цифровизация социальных услуг в современном российском обществе [Электронный ресурс]: сборник научных статей студентов / под науч. ред. С. Е. Гасумовой; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2020. – 172 с.

References:

[1] Gavrilenko O.V. Digital Technologies of Social Control: Prospects and Social Consequences of Their Implementation. Gavrilenko // Bulletin of Moscow University. Series 18. Sociology and Political Science. 2022, Vol. 28, No. 1, pp. 145–163.

[2] Unified State Information System of Social Security. Available at: <http://egisso.ru/site/client/#/> (accessed on 25.11.2025).

[3] Zykova N.N. Digital Transformation in the Social Sphere: Trends and Prospects. Zykova // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Economics and Management. 2023, No. 1(56), pp. 88–96.

[4] Krivtsova E. V. Digital transformation in the field of social security for youth: advantages, problems and risks / E. V. Krivtsova, N. A. Kanina // Professional education in Russia and abroad. - 2022. - No. 1 (45). - P. 137-144.

[5] Romanova N. V. Digitalization of services in the social sphere: problems and prospects / N. V. Romanova // Bulletin of USPTU. Science, education, economics. Series: Economics. - 2020. - No. 1 (31). - P. 58-65

[6] Digitalization of social services in modern Russian society [Electronic resource]: collection of scientific articles by students / edited by S. E. Gasumova; Perm State National Research University. - Perm, 2020. - 172 p.





ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

Дата поступления рукописи в редакцию: 31.01.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.
DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-13-15

ЗАКУСИЛО Александр Олегович,
студент 1 курса,
Московский финансово-промышленный университет «Синергия»
(МФПУ «Синергия»),
Москва, Россия,
e-mail: info@law-books.ru

МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРЕСТУПЛЕНИЙ ПРОТИВ МИРА И БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная на сегодняшний день тема – меры предотвращения преступлений против мира и безопасности. Это связано, главным образом, со сложностью международной обстановки, роста числа вооружённых конфликтов и новых форм угроз, требующих адекватного правового реагирования.

Ключевые слова: преступление, противоправное деяние, безопасность, гражданин, государство.

ZAKUSILO Alexander Olegovich,
first-year student,
Moscow Financial and Industrial University «Synergy»
(MFPU «Synergy»),
Moscow, Russia

MEASURES TO PREVENT CRIMES AGAINST PEACE AND HUMAN SECURITY

Annotation. The article discusses the current topic of preventing crimes against peace and security. This is mainly due to the complexity of the international situation, the growing number of armed conflicts, and the emergence of new threats that require an adequate legal response.

Key words: crime, illegal act, security, citizen, state.

Исследование преступлений против мира и безопасности является крайне значимым для общества, что обуславливается, главным образом, локальными и мировыми войнами, а также противоречиями в экономике, религии, экономике и т.д.

Несмотря на то, что преступления против мира и безопасности человечества известны в истории ещё с древних времён, до 1996 г. в российском уголовном праве не было задач по обеспечению мира и безопасности человечества.

Рассматриваемые преступления затрагивают не отдельно взятых людей, они ориентированы на общество в целом, а зачастую перерастают в общечеловеческий масштаб, неся огромную угрозу – такими, к примеру, являются геноцид и экоцид.

На сегодняшний день в обществе выработались устойчивые взгляды по поводу неприятия какого-либо неправомерного воздействия на собственные права. Внешняя и внутренняя политика Российской Федерации ориентирована на предотвращение и ликвидацию любых форм преступлений против граждан [4].

Преступления против мира и безопасности

подразумевают умышленные противоправные деяния, которые ориентированы, главным образом, на подрыв мирного сосуществования государств и народов, посягают на безопасность мирового сообщества и наносят урон международному правопорядку.

Однако следует отметить, что толкование и классификация преступлений против мира и безопасности человечества в рамках международного права могут вызывать разночтения и неоднозначность. К примеру, отсутствие единого кодифицированного акта, который бы чётко определял такие преступления, оставляет это понятие открытым для различных интерпретаций со стороны разных авторов.

Преступления, которые посягают на мир и безопасность человечества, характеризуются тем, что все они совершаются только путём действия. Учитывая опасность, которую они представляют, многие нормы, которые устанавливают ответственность за совершение данных преступлений, не включают в себя последствия в качестве обязательного для окончательного состава преступления признака. Абсолютно все престу-

пленя, которые рассматриваются, совершаются только умышленно. За совершение преступлений посягающих на мир и безопасность человечества, в соответствии с Уголовным кодексом РФ устанавливается индивидуальная ответственность, как, в общем, и за другие преступления.

Для сохранения безопасности человечества, в первую очередь, было создано межгосударственное объединение в лице Организации Объединенных наций и её институтов. В дополнение к этому существует целая система международно-правовых норм, которые определяют общие правила взаимоотношений между странами в сфере обеспечения мира и безопасности человечества [3].

Также для обеспечения безопасности между различными государствами подписываются соответствующие договорённости о мире. Так, к примеру, между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой 16 июля 2001 года подписан договор о добрососедстве, дружбе и сотрудничестве. Данный документ вступил в силу в феврале 2002 года. Положения данного договора отражают условия, которые не может нарушить ни одна сторона. К примеру, ни Россия, ни Китай, не могут применить друг против друга ядерное оружие или нацеленать стратегические ядерные ракеты.

Внутри государств также принят ряд правовых норм, которые охраняют мир и безопасность человечества.

Таким образом, на современном этапе безопасность человечества, в целом, и безопасность каждого гражданина, в частности, обеспечивается правовыми актами, принятыми на различных уровнях (государственном, международном).

Следуя всем общечеловеческим принципам и ценностям, а также международным договорёностям, Российское законодательство также подразумевает строгие санкции в рамках уголовного законодательства за посягательства на мир и безопасность человечества. Так, к примеру, в

главе 34 уголовного закона РФ сосредоточена система преступлений против мира и безопасности человечества. При этом, с одной стороны, данную систему можно считать полноценной, т.к. как она учитывают всю существующую на сегодняшний день практику преступлений против мира и безопасности человечества. Однако с каждым днём появляются всё новые формы преступлений, такие формы, как информационный терроризм или систематические кибер-атаки [2].

В уголовном праве Российской Федерации представлены следующие элемент деяний, опасных для социума [1; 5]:

- 1) планирование, подготовка, развязывание или ведение агрессивной войны (ст. 353);
- 2) публичные призывы к развязыванию агрессивной войны (ст. 354);
- 3) реабилитация нацизма (ст. 354.1);
- 4) разработка, производство, накопление, приобретение или сбыт оружия массового поражения (ст. 355);
- 5) применение запрещенных средств и методов ведения войны (ст. 356);
- 6) геноцид (ст. 357);
- 7) экоцид (ст. 358);
- 8) наёмничество (ст. 359);
- 9) нападение на лиц или учреждения, которые пользуются международной защитой (ст. 360).

Таким образом, на сегодняшний день существует проработанная система правовых мер преступлений против мира и безопасности человечества. Однако следует учитывать все изменения, которые происходят в мире и влияют на появление новых деяний.

Обеспечение мира и безопасности человечества подразумевает под собой одну из наиболее значимых целей современного уголовного права. Это обуславливается, главным образом, глобальными угрозами и необходимостью консолидации усилий международного сообщества в борьбе с преступлениями против мира и безопасности.

Список литературы:

[1] Багандова Л.З. Обеспечение мира и безопасности человечества как задача Уголовного кодекса Российской Федерации // *Право и политика*. 2025. №8. С. 19-28.

[2] Баранова М. И. Понятие и виды преступлений против мира и безопасности человечества / М. И. Баранова // *Молодежь и XXI век. 2022: Материалы 12-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 17–18 февраля 2022 года / Отв. редактор М. С. Разумов. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 30–33.*

[3] Гигинейшвили М. Т. Преступления против мира и безопасности человечества: анализ развития главы 34 УК РФ / М. Т. Гигинейшвили // *Прогресс и преемственность в российском уголовном праве (к 95-летию УК РСФСР 1926 г. и 25-летию УК РФ 1996 г.): Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Краснодар, 28–29 июня 2021 года / отв. ред. В. П. Коняхин, М. Л. Прохорова. — Краснодар: Кубанский государственный университет, 2021. — С. 584–590.*

[4] Косарев А. Д. Понятие и виды преступлений против мира и безопасности человечества / А. Д. Косарев, О. В. Левашова // *Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: сборник научных статей Всероссийской научной конференции перспективных разработок, в 2-х томах, Курск, 01 декабря 2020 года. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 394–398.*

[5] Уголовное право. Общая часть. В 2 т. Том 1 : учебник для вузов / И. А. Подройкина [и др.] ; ответственные редакторы И. А. Подройкина, Е. В. Серегина, С. И. Улезько. 5-е изд., перераб. и доп. Москва : Издательство «Юрайт», 2023. — 299 с.

References:

[1] Bagandova L.Z. Ensuring Peace and Security of Humanity as a Task of the Criminal Code of the Russian Federation // Law and Politics. 2025. No. 8. Pp. 19-28.

[2] Baranova M.I. Concept and Types of Crimes against the Peace and Security of Humanity / M.I. Baranova // Youth and the 21st Century. 2022: Proceedings of the 12th International Youth Scientific Conference. In 4 volumes, Kursk, February 17-18, 2022 / Editor-in-Chief M.S. Razumov. Kursk: South-West State University, 2022. Pp. 30-33.

[3] Gigineishvili M. T. Crimes against the peace and security of mankind: an analysis of the development of Chapter 34 of the Criminal Code of the Russian Federation / M. T. Gigineishvili // Progress and continuity in Russian criminal law (on the 95th anniversary of the Criminal Code of the RSFSR of 1926 and the 25th anniversary of the Criminal Code of the Russian Federation of 1996): Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, Krasnodar, June 28–29, 2021 / ed. V. P. Konyakhin, M. L. Prokhorova. - Krasnodar: Kuban State University, 2021. - Pp. 584–590.

[4] Kosarev A. D. Concept and types of crimes against the peace and security of mankind / A. D. Kosarev, O. V. Levashova // Innovative potential of society development: the view of young scientists: collection of scientific articles of the All-Russian scientific conference of advanced developments, in 2 volumes, Kursk, December 1, 2020. Kursk: South-West State University, 2020. pp. 394–398.

[5] Criminal law. General part. In 2 volumes. Volume 1: textbook for universities / I. A. Podroikina [et al.]; editors-in-chief I. A. Podroikina, E. V. Seragina, S. I. Ulezko. 5th ed., revised and enlarged. Moscow: Yurait Publishing House, 2023. — 299 p.



Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

ШТЫКОВА Юлия Николаевна,
магистр,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»,
Тольятти, Россия,
e-mail: milai164@mail.ru

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Аннотация. В статье исследуются актуальные проблемы оценки экономической эффективности инвестиционных проектов. Проводится анализ особенностей применения ключевых показателей эффективности: чистой приведенной стоимости (NPV), внутренней нормы доходности (IRR) и индекса доходности (PI). Выявлены и проанализированы возможные противоречия между показателями NPV и IRR при сравнительной оценке проектов. Особое внимание уделено выбору ставки дисконтирования как критически важного элемента анализа, поскольку именно от ее величины напрямую зависит итоговый результат оценки. Рассмотрены и сопоставлены различные методологические подходы к определению ставки дисконтирования: интуитивный, экспертный, использование безрисковой ставки с добавлением премий за риск. Для каждого подхода сформулированы ключевые преимущества и ограничения. Обоснована определяющая роль взвешенного выбора ставки дисконтирования для принятия обоснованных инвестиционных решений, а также подчеркнута возрастающая важность оценки и интеграции ESG-факторов в этот процесс.

Практическая значимость полученных результатов состоит в возможности их применения при оценке эффективности инвестиционных проектов на предприятиях в современных условиях, характеризующихся изменениями в системе налогообложения, высокими финансовыми рисками, влиянием социальных и экологических факторов на успешность реализации инвестиционных проектов.

Цель исследования – выявление проблемных аспектов в методике оценки эффективности инвестиционных проектов и комплексный анализ существующих подходов к определению ставки дисконтирования.

В работе использованы методы сравнительного экономического анализа, систематизации и обобщения теоретических и методологических положений.

Определены специфические особенности и условия корректного применения различных подходов к оценке эффективности инвестиций. На основе проведенного анализа сформулированы практические рекомендации по обоснованному выбору ставки дисконтирования с учетом современных требований к инвестиционному анализу.

Результаты исследования предназначены для практического использования экономистами, финансовыми аналитиками и инвестиционными менеджерами в процессе оценки и отбора инвестиционных проектов.

Ключевые слова: инвестиционный анализ, ставка дисконтирования, инвестиционный проект, ESG-факторы, финансовый менеджмент, чистая приведенная стоимость (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), эффективность инвестиций.

SHTYKOVA Yulia Nikolaevna,
master's degree,
Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education
«Tolyatti State University»,
Tolyatti, Russia

PROBLEM ISSUES OF INVESTMENT PROJECT EVALUATION

Annotation. The article examines current issues in evaluating the economic efficiency of investment projects. An analysis is conducted on the application specifics of key performance indicators: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Profitability Index (PI). Potential contradictions between NPV and IRR indicators in the comparative assessment of projects are identified and analyzed. Particular attention is paid to the selection of the discount rate as a critically important element of the analysis, since the final

evaluation result directly depends on its magnitude. Various methodological approaches to determining the discount rate are considered and compared: intuitive, expert, and the use of a risk-free rate with added risk premiums. Key advantages and limitations are formulated for each approach. The pivotal role of a well-considered discount rate choice for making informed investment decisions is substantiated, and the growing importance of assessing and integrating ESG factors into this process is emphasized.

The research aim is to identify problematic aspects in the methodology for evaluating the effectiveness of investment projects and to provide a comprehensive analysis of existing approaches to determining the discount rate.

The study employs methods of comparative economic analysis, systematization, and generalization of theoretical and methodological principles.

The specific features and conditions for the correct application of various approaches to investment efficiency assessment are determined. Based on the conducted analysis, practical recommendations are formulated for the well-founded selection of a discount rate, taking into account modern requirements for investment analysis.

The research results are intended for practical use by economists, financial analysts, and investment managers in the process of evaluating and selecting investment projects.

Key words: investment analysis, discount rate, ESG factors, financial management, investment project, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), investment efficiency.

Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта является комплексной задачей, для решения которой используются различные подходы, описанные в научной литературе. Основной целью инвестора является создание максимальных экономических выгод путем использования существующих и будущих ресурсов для производства товаров и услуг сейчас и в будущем. Для того чтобы создать экономическую выгоду сейчас, нынешняя стоимость прогнозируемых денежных потоков должна превышать текущую стоимость всех прогнозируемых негативных денежных потоков. Чистая текущая стоимость (NPV) проекта определяется как сумма всех будущих денежных потоков, дисконтированных по заранее определенной ставке доходности (дисконтирования), за исключением дисконтированной стоимости вложенных инвестиций:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+k)^t} - C \quad (1)$$

где R_t - запланированные денежные потоки проекта;

k - требуемая ставка доходности, определенная как ставка дисконтирования;

C - первоначальные инвестиции в проект.

Проблема оценки эффективности инвестиционного проекта часто усложняется тем, что инвестиции могут осуществляться не только в начале проекта, но также и в ходе его реализации. Например, предприятие может вкладывать средства в приобретение нового оборудования, а при увеличении продаж, дополнительно инвестировать средства в увеличение количества единиц оборудования. В таком случае, последующие инвестиции также приводятся к текущему моменту с использованием дисконтирования по рассчитанной ставке [5, с. 25].

Правило чистой приведенной стоимости дает научно обоснованный ответ на вопрос о принятии или отклонении конкретного инвестиционного

проекта. Определение внутренней нормы доходности можно считать альтернативным подходом в оценке экономической эффективности инвестиционного проекта. Внутренней нормой доходности (IRR) является ставка доходности, при которой дисконтированная стоимость проекта равняется нулю. Ставка IRR определяется по формуле:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} - C \quad (2)$$

где r - ставка дисконтирования, при которой $NPV = 0$.

Инвестиционный проект считается экономически эффективным, если внутренняя норма доходности превышает требуемую доходность, определяемую ставкой дисконтирования, следовательно, в таком случае проект принимается к реализации. В данном случае величина k из формулы чистой нынешней стоимости представляет собой ставку доходности, которая требуется.

В подавляющем большинстве случаев расчет IRR, как метод оценки капитальных проектов, дает такое же решение относительно принятия или отклонения предложения по инвестированию. Проекты с положительными значениями чистой нынешней стоимости будут иметь стоимость r большей стоимости k .

При сравнении взаимоисключающих проектов, когда проекты существенно отличаются по масштабу, времени и структуре вложений и ожидаемых денежных потоков, знак денежных потоков может изменяться, что приводит к различным значениям IRR. Проблема противоречий между показателями IRR и NPV заключается в том, что первый показатель указывает относительную доходность проекта, а второй является абсолютным, отражающим абсолютную стоимость проекта.

Противоречие между показателями IRR и NPV также проявляется в том, что при использовании

IRR предполагается, что инвестор реинвестирует денежные потоки по ставке равной IRR, что является нереалистичным. Однако при использовании NPV предполагается, что капитал реинвестируется по ставке дисконтирования, что является более консервативным подходом.

Возможный путь устранения противоречий между показателями IRR и NPV – это использование модифицированной ставки MIRR (Modified IRR). Особенность расчета данной ставки – это дисконтирование всех отрицательных денежных потоков по ставке, равной стоимости капитала, а всех положительных потоков – по ставке реинвестирования.

Не менее важным методом оценки инвестиционных проектов является метод определения индекса доходности, который определяется как соотношение расходов и доходов с учетом дисконтирования. Индекс доходности (PI) является частным от деления ожидаемых будущих денежных потоков на первоначальные затраты:

$$P = \frac{\sum_{t=1}^n R_t (1+k)^t}{C} \quad (3)$$

Различие между чистой приведенной стоимостью и индексом доходности заключается в том, что при использовании показателя NPV первоначальные затраты вычитаются из нынешней стоимости ожидаемых денежных потоков, а при расчете показателя PI нынешняя стоимость ожидаемых денежных потоков делится на первоначальные затраты. Проект принимается при условии, если его доходность больше единицы. Соответственно, если по проекту индекс доходности превышает единицу, чистая приведенная стоимость является положительной.

На основании периода окупаемости инвестор может принимать правильные решения. Однако существует несколько других приемов оценки инвестиционных проектов, использование которых может привести к сомнительным решениям относительно принятия или непринятия проектов.

К распространенным приемам принадлежат период окупаемости проекта, дисконтированный период окупаемости, доходность привлеченного капитала и показатель воздействия на доходность акции. Период окупаемости является промежутком времени, необходимого для того, чтобы возместить первоначальные инвестиции. Однако метод периода окупаемости недостаточно ввиду того, что он включает в себя задачи субъективного установления срока периода окупаемости, не предоставляет информации о том, создает ли этот проект богатство, а также может игнорировать значительные выплаты за чертой (во времени) точки окупаемости. Хотя на практике значение показателя периода

окупаемости позволяет руководителю оценить, в течение какого времени средства находятся в зоне риска.

Дисконтированный период окупаемости отличается от обычного периода окупаемости тем, что он определяется после дисконтирования денежных потоков, однако дисконтированный период окупаемости всегда будет больше, так как учитывает снижение стоимости денег во времени. Так же как и период окупаемости, дисконтированный период окупаемости обозначен таким недостатком, как невозможность точно определить приемлемое значение периода окупаемости. Дисконтированный период окупаемости не показывает, действительно инвестиция приносит деньги, удовлетворяя потребности потребителя на конкурентных рынках.

При использовании метода дисконтирования денежных потоков одной из проблем, не имеющих однозначного решения является проблема обоснования формулы расчета ставки дисконтирования [8, с. 219].

Коэффициент дисконтирования является коэффициентом, посредством которых финансовые показатели различных лет приводятся к сопоставимой стоимости.

Исходя из формулы коэффициента дисконтирования, он рассчитывается на основании ставки дисконтирования RD.

Ставка дисконтирования – это ставка, с использованием которой осуществляется приведение денежных потоков, поступающих в разные периоды к моменту оценки стоимости проекта. Иными словами, ставка дисконтирования учитывает изменение стоимости денежных средств, вложенных в проект с позиции возможности их вложения в безрисковые активы или альтернативные проекты.

Одной из ключевых проблем инвестора является обоснование выбора ставки дисконтирования, так как возможны несколько подходов к определению данной ставки, и соответственно, от выбора подхода зависит результат оценки эффективности инвестиционного проекта.

Существует несколько подходов к определению ставки дисконтирования, используемой для оценки текущей стоимости будущих денежных потоков при использовании ставки дисконтирования:

1) Интуитивный подход. Инвестор может устанавливать ставку, опираясь на личное мнение и сравнение безрисковых альтернатив, например, рассматриваются вложения в банковские депозиты или ОФЗ. Недостатком данного подхода субъективность оценки, исходя из которой следует неточность полученных результатов оценки.

2) Экспертный подход, подразумевающий определение ставки посредством согласованного

мнения группы экспертов, учитывающих различные аспекты и имеющих разную степень осведомленности. При условии достаточной согласованности мнений экспертов, которая оценивается на основании коэффициента конкордации, можно получить более объективную оценку ставки дисконтирования.

3) Использование в качестве ставки дисконтирования безрисковой процентной ставки. В качестве безрисковой ставки можно использовать ставки по активам с минимальным риском, таких как российские ОФЗ или банковские депозиты. Основным недостатком данного подхода является то, что для инвестиционных проектов присущ определенный уровень риска, но сравнение инвестиционных проектов с безрисковым вложением средств не отражает оценку инвестиционного проекта по сравнению с альтернативными инвестиционными проектами [4, с. 65].

4) Подход оценки на основе премий за риск. В соответствии с данным подходом, ставка рассчитывается путем добавления к безрисковой ставке премий, компенсирующих различные виды рисков, например, с использованием модели кумулятивного построения или модели CAPM. Данный подход более точный, так как инвесторы принимают на себя определенный риск, который также должен быть учтен в оценке проекта. Данный подход можно считать более точным, однако определенную проблему составляет определение размера премии за риск. В научной литературе его выбирают на уровне 4-5%, однако выбор также должен быть обоснован.

5) Подход, основанный на аналитических методах. В соответствии с данным подходом, ставка дисконтирования определяется с использованием финансовых показателей компании и рыночных мультипликаторов, например, с использованием моделей WACC или Гордона. Однако недостатком данного подхода является связь ставки со стоимостью

капитала, который фактически привлечен компанией. Соответственно, сравнение проектов, реализованных внутри и вне компании, будет некорректным, так как стоимость привлеченного капитала может существенно отличаться.

Выбор подхода оказывает значительное влияние на результаты оценки эффективности инвестиционного проекта, что можно проиллюстрировать на примере инвестиционного проекта по приобретению программируемой швейной машины в ООО «Техноавиа-Екатеринбург», которое осуществляет деятельность по производству спецодежды.

Проектом запланированы инвестиционные расходы в размере 948 тыс. рублей. Планируемые годовые чистые денежные потоки (ЧДП) составляют 465,5 тыс. рублей в год. Предполагается финансирование проекта частично за счет собственных средств компании (50% инвестиций), частично – за счет кредита по ставке 26,5%. Стоимость собственного капитала компании составляет 16% и равна рентабельности капитала по данным отчетности за 2024 год.

Оценивая экономическую эффективность данного проекта рассмотрим два варианта расчета ставки дисконтирования:

- подход на основе премии за риск;
- подход на основе модели средневзвешенной стоимости капитала (WACC).

При использовании первого подхода рассчитываем ставку дисконтирования:

$$rd = Rf + Rp \quad (4)$$

где Rf - средняя годовая ставка безрисковых вложений;

Rp - премия за риск - рекомендуется 4-5%;

Получим ставку дисконтирования:

$$rd = 21 + 4 = 25\%$$

Расчет чистой дисконтированной стоимости проекта по ставке 25% приведен в таблице 1.

Таблица 1. Расчет чистой дисконтированной стоимости проекта с использованием подхода на основе премии за риск.

Год	ЧДП, тыс. руб.	Коэффициент дисконтирования	ЧДДП, тыс. руб.	NPV, тыс. руб.
0	-948	1,000	-948	-948
1	465,5	0,750	349,13	-598,87
2	465,5	0,563	261,84	-337,03
3	465,5	0,422	196,38	-140,65
4	465,5	0,316	147,29	6,64
5	465,5	0,237	110,47	117,11

Получаем чистую дисконтированную стоимость проекта для 5-летнего проекта: NPV=117,11 тыс. руб.

В таблице 1 с помощью аббревиатуры ЧДП обозначены значения чистого денежного потока в каждом году проекта, а с помощью ЧДДП указаны чистые дисконтированные денежные потоки проекта, определенные путем умножения ЧДП на коэффициент дисконтирования.

При использовании второго подхода в качестве ставки дисконтирования используется значение средневзвешенной стоимости капитала, вложенного в проект.

$$rd = WACC = (1-0,25)*26,5*0,5+16*0,5 = 17,9 \%$$

В данном случае чистую дисконтированную стоимость проекта определяем по ставке 17,9% в таблице 2.

Таблица 2. Расчет чистой дисконтированной стоимости проекта с использованием подхода на основе модели средневзвешенной стоимости капитала (WACC).

Год	ЧДП, тыс. руб.	Коэффициент дисконтирования	ЧДДП, тыс. руб.	NPV, тыс. руб.
0	-948	1,000	-948	-948
1	465,5	0,821	382,18	-565,82
2	465,5	0,674	313,77	-252,05
3	465,5	0,553	257,6	5,55
4	465,5	0,454	211,49	217,04
5	465,5	0,373	173,63	390,67

Чистая дисконтированная стоимость проекта (NPV) составила 390,67 тыс. руб., что существенно выше результатов подхода, основанного на премии за риск.

Приведенный пример демонстрирует, что выбор подхода к определению ставки дисконтирования оказывает существенное влияние на оценку эффективности проекта даже при стабильных экономических условиях. Поэтому для инвестора важно тщательно обосновать выбор ставки, учитывая цели инвестирования, особенности финансирования и другие релевантные факторы

Рассмотренные традиционные методы оценки экономической эффективности инвестиционных проектов зачастую не учитывают воздействие инвестиционных проектов на экологию и общество.

Современные методы оценки эффективности позволяют комплексно оценить проект с учетом не только экономических, но и других результатов последствий реализации проекта. Одним из таких методов оценки является метод с учетом ESG-факторов, а именно экологических, социальных и управленческих [12].

Рассмотрим, как ESG-факторы влияют на ставку дисконтирования. В соответствии с моделью CAPM, ставку дисконтирования можно представить в следующем виде:

$$Ke = Rf + \beta * (Rm - Rf) \quad (5)$$

где

Ke - требуемая доходность собственного проекта (ставка дисконтирования);

Rf - безрисковая ставка доходности (Risk-free rate);

β (Бета) - коэффициент бета, включающий в модель систематический риск;

(Rm - Rf) - рыночная премия за риск, определяется как разница между ожидаемой доходностью рыночного портфеля (Rm) и безрисковой ставкой (Rf).

ESG-факторы оказывают влияние как на безрисковую ставку Rf, на меру систематического риска β , а также на рыночную риск премию (Rm - Rf).

Влияние на ставку Rf проявляется в том, что экологические и социальные факторы становятся системными и влияют на изменение кредитно-денежной политики центральных банков, устанавливаемые ими ключевые ставки.

В случае неблагоприятного ESG-профиля компании, например, если компания осуществляет вредные выбросы в атмосферу, увеличивается коэффициент β , так как на деятельность оказывают влияние существенные систематические риски [1].

Влияние ESG-факторов на рыночную риск премию (Rm - Rf) проявляется в том, что социальные, экологические и политические процессы повышают риски для инвесторов, ожидающих поступления доходов в долгосрочной перспективе, что требует повышения премии за риск.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что в системе оценки управления инвестиционными проектами используются методы оценки эффективности при-

влеченных в проект ресурсов и оценки эффективности инвестиций. Оценка проекта может осуществляться в процессе его реализации и по итогам реализации. Обоснование выбора метода расчета ставки дисконтирования является суще-

ственной проблемой инвестиционной деятельности, так как она составляет основу для оценки эффективности инвестиционных проектов, реализуемых компанией.

Список литературы:

[1] Айч С., и др. Факторы, влияющие на ESG-факторы в контексте инвестиций: структурный подход // Устойчивое развитие. – 2021. – Т. 13. – № 19. – С. 10868.

[2] Аль-Эззи Т. М. Х. Измерение и анализ инвестиционных показателей и рисков на сельскохозяйственном предприятии с диверсифицированными культурами (тематическое исследование в провинции Дияла, Ирак) на производственный сезон 2023 года // Журнал сельскохозяйственных наук Диджлы. – 2024. – Т. 2. – № 2. – С. 24–35.

[3] Каспрович Т., Старчик-Колбык А., Войчик Р. Р. Рандомизированный метод оценки чистой приведенной стоимости эффективности строительных проектов // International Journal of Construction Management. – 2023. – Vol. 23. – No. 12. – P. 2126–2133.

[4] Клементьева Ю. О. Сущность и методы оценки рисков инвестиционных проектов // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2024. – № 28. – С. 64–69.

[5] Москвин В. А. Инвестиционные проекты в мире социальных систем. – Москва : КУРС, 2024. – 257 с.

[6] Муравева Н. Н., и др. ESG-инвестирование как фактор корпоративной устойчивости // Международная научно-практическая конференция «Управление операциями и проектами: стратегии и тенденции». – Cham : Springer International Publishing, 2021. – С. 577–583.

[7] Пыркин А. Г. Методика оценки инвестиционных проектов в интеллектуальный капитал с использованием искусственного интеллекта // Russian Economic Bulletin. – 2024. – № 3. – С. 219–220.

[8] Раевский С. В., Чешин А. В. Региональные инвестиционные проекты в экономике региона. – Москва : Юнити-Дана, 2023. – 263 с.

[9] Сика Ф., и др. Таксономия и показатели ESG-инвестиций // Устойчивое развитие. – 2023. – Т. 15. – № 22. – С. 15979.

[10] Сифай И., и др. Многокритериальный анализ финансовых рисков проекта солнечной фотоэлектрической электростанции с учетом неопределенности с использованием моделирования методом Монте-Карло // 2024 International Conference on ICT for Energy and Power Engineering (ICTPEP). – IEEE, 2024. – С. 330–335.

[11] Соловьев М. В. Оценка эффективности инвестиционных проектов с учетом ESG-факторов // Вестник Академии знаний. – 2024. – № 4. – С. 345–349.

[12] Фрати Г., Маццакурати Дж., Алеманни Б. ESG-факторы в инвестиционном процессе // Информация как движущая сила устойчивого финансирования: европейская нормативно-правовая база. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – С. 147–177.

[13] Хуссейн А., и др. Математическая модель для оптимизации чистой приведенной стоимости и выбросов парниковых газов для строительных проектов в условиях ограничений на выбросы углерода // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 31875–31891.

[14] Шварцфитер К., Херер Й. Т. Управление балансом между стоимостью проекта и чистой приведенной стоимостью с использованием обучения с подкреплением // IEEE Access. – 2023. – Vol. 12. – P. 7500–7518.

[15] Эмеле К. Р., Афолаян А. С., Огбонна И. О. Влияние нестабильной экономики на показатели жизнеспособности инвестиционных проектов на рынке недвижимости Лагоса // Журнал экологических наук LASU. – 2025. – Т. 1. – № 2. – С. 1–25.

References:

[1] Aich S., et al. Factors Affecting ESG Factors in the Context of Investments: A Structural Approach // Sustainable Development. - 2021. - Vol. 13. - No. 19. - P. 10868.

[2] Al-Ezi T. M. H. Measurement and Analysis of Investment Performance and Risks in an Agricultural Enterprise with Diversified Crops (A Case Study in Diyala Province, Iraq) for the 2023 Production Season // Dijla Journal of Agricultural Sciences. - 2024. - Vol. 2. - No. 2. - P. 24-35.

[3] Kasprowich T., Starczyk-Kolbyk A., Wojcik R. R. Randomized Method for Estimating the Net Present Value of Construction Projects Performance // International Journal of Construction Management. - 2023. - Vol. 23. - No. 12. - P. 2126–2133.

[4] Klementyeva Yu. O. The Essence and Methods of Assessing the Risks of Investment Projects // Business Education in the Knowledge Economy. – 2024. – No. 28. – P. 64–69.

- [5] Moskvina V. A. *Investment Projects in the World of Social Systems*. – Moscow: KURS, 2024. – 257 p.
- [6] Muravyova N. N., et al. *ESG Investing as a Factor in Corporate Sustainability // International Scientific and Practical Conference «Operations and Project Management: Strategies and Trends»*. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 577–583.
- [7] Pyrkin A. G. *Methodology for Assessing Investment Projects in Intellectual Capital Using Artificial Intelligence // Russian Economic Bulletin*. – 2024. – No. 3. – P. 219–220.
- [8] Raevsky S. V., Cheshin A. V. *Regional investment projects in the regional economy*. – Moscow: Unity-Dana, 2023. – 263 p.
- [9] Sika F., et al. *Taxonomy and indicators of ESG investments // Sustainable development*. – 2023. – Vol. 15. – No. 22. – P. 159–79.
- [10] Sifay I., et al. *Multicriteria analysis of financial risks of a solar photovoltaic power plant project taking into account uncertainty using Monte Carlo simulation // 2024 International Conference on ICT for Energy and Power Engineering (ICTPEP)*. – IEEE, 2024. – P. 330–335.
- [11] Soloviev M. V. *Evaluation of the effectiveness of investment projects taking into account ESG factors // Bulletin of the Academy of Knowledge*. – 2024. – No. 4. – P. 345–349.
- [12] Frati G., Mazzacurati G., Alemanni B. *ESG factors in the investment process // Information as a driving force for sustainable finance: the European regulatory framework*. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – P. 147–177.
- [13] Hussein A., et al. *A mathematical model for optimizing the net present value and greenhouse gas emissions of construction projects under carbon emission restrictions // IEEE Access*. – 2024. – Vol. 12. – P. 31875–31891.
- [14] Schwarzfitter K., Herer J. T. *Managing the Trade-Off between Project Cost and Net Present Value Using Reinforcement Learning // IEEE Access*. – 2023. – Vol. 12. – P. 7500–7518.
- [15] Emele K. R., Afolayan A. S., Ogbonna I. O. *The Impact of an Unstable Economy on the Viability of Investment Projects in the Lagos Real Estate Market // LASU Journal of Environmental Sciences*. – 2025. – Vol. 1. – No. 2. – P. 1–25.




**Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»**

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, Е-Library.

ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

ИСХАКОВ Ильяс Ильдусович,
студент,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: ishakov.ii@edu.spbstu.ru

РАССМОТРЕНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В РОССИЙСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. Целью в статье является проведение анализа текущего состояния, статистических данных, барьеров внедрения аддитивных технологий в отечественную строительную отрасль. В работе вскрывается ключевое противоречие. С одной стороны, технология обещает революционные преимущества (сокращение сроков, снижение затрат, архитектурная свобода). С другой — ее масштабирование сдерживается существенными технологическими и экономическими барьерами. Автор приходит к выводу, что, несмотря на ограничения, 3D-печать уже нашла свою нишу в малоэтажном и индивидуальном строительстве, а ее будущее сопряжено с гибридными подходами и интеграцией с BIM-системами.

Ключевые слова: 3D-печать, аддитивные технологии, инновации, нормативная база, производительность труда, строительная отрасль, цифровизация.

ISKHAKOV Ilyas Ildusovich,
student,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia

CONSIDERATION AND IMPLEMENTATION OF 3D PRINTING TECHNOLOGY IN THE RUSSIAN CONSTRUCTION SECTOR

Annotation. The purpose of this article is to analyze the current state, statistical data, and barriers to the adoption of additive technologies in the domestic construction industry. The study reveals a key contradiction: on the one hand, the technology promises revolutionary advantages—reduced construction time, lower costs, and greater architectural freedom; on the other hand, its large-scale deployment is constrained by significant technological and economic barriers. The author concludes that, despite these limitations, 3D printing has already found its niche in low-rise and individual housing construction, and its future lies in hybrid approaches and integration with BIM systems.

Key words: 3D printing, additive technologies, innovation, regulatory framework, labor productivity, construction industry, digitalization.

Современный этап экономического развития характеризуется переходом к новому технологическому укладу. Его «ядром» служат цифровые и аддитивные технологии, которые существенно меняют привычные производственные процессы. Аддитивный технологический процесс — это изготовление деталей, которое основано на создании физического объекта по электронной модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки) [2, с. 208; 8, с. 50].

Строительная отрасль, традиционно считающаяся одной из наиболее инертных к новациям, сегодня стоит на пороге фундаментальных

преобразований. «Движущей силой» становится строительная 3D-печать — относится к классу аддитивных технологий и обычно применяется для задач быстрого прототипирования, но в редких случаях может использоваться для мелкосерийного производства конечной продукции. 3D-принтер — станок с числовым программным управлением, реализующий только аддитивные операции, то есть, добавляющий порции материала к заготовке. Обычно использует метод послойного нанесения материала, однако существуют и методы непрерывного формирования детали в объеме жидкого фотополимера, при которых деталь не делится на слои, а формируется целиком [9, с. 207].

Актуальность исследования потенциала аддитивных решений для российской строительной

индустрии обусловлена комплексом факторов. Во-первых, перед страной стоят амбициозные задачи по увеличению объемов жилищного строительства и повышению его доступности, что требует внедрения передовых, экономически эффективных новшеств. Во-вторых, специфика России (с ее огромными территориями, разнообразными климатическими зонами) делает 3D-печать потенциально незаменимым инструментом для освоения труднодоступных площадок, обеспечения жильем населения в отдаленных местностях. В-третьих, отрасль сталкивается с системными вызовами — дефицит квалифицированных кадров и необходимость повышения производительности труда. Аддитивные технологии могут стать одним из ответов на эти испытания.

Как представляется, на данном этапе технология переходит от стадии единичных экспериментов к первым коммерческим проектам и формированию полноценного рынка, что требует научного осмысления накопленного опыта.

Проникновение аддитивных технологий в российский строительный комплекс происходит на фоне общей цифровизации промышленности, хотя и с определенным отставанием от передовых секторов экономики. Невзирая на то, что 3D-печать в РФ начала развиваться позже, чем в некоторых других странах, на сегодняшний день она демонстрирует уверенную динамику в сочетании с переходом от чисто экспериментальной фазы к практическому применению. Государство играет значимую роль в данном процессе, рассматривая аддитивные разработки как один из приоритетов в рамках «Стратегии развития строительной отрасли и ЖКХ до 2030 года» [1].

Важнейшим фактором, который содействует легитимизации и масштабированию рассматриваемой технологии, является формирование нормативно-технической базы. Ведется активная работа по созданию национальных стандартов (ГОСТов) и сводов правил, регулирующих применение аддитивных методов, в частности, уже

разработаны ГОСТы на строительные смеси, что делает технологию сертифицированной и безопасной. Эту деятельность координирует ФАУ «ФЦС» при Минстрое России, которое с 2021 года ведет прикладные научные исследования в данной области. На рынке уже сформировался пул отечественных компаний, которые занимаются разработкой и производством строительных 3D-принтеров. По разным оценкам, их число достигает десяти, и некоторые из них обладают конкурентоспособными позициями даже на международном рынке [2, с. 209; 6, с. 86].

Хотя полная и всеобъемлющая статистика по рынку строительной 3D-печати в России пока формируется, имеющиеся данные позволяют оценить его ключевые параметры. Так, согласно заявлению замглавы Минстроя РФ, к 2030 году в России планируется возвести до 1 миллиона квадратных метров жилья с использованием аддитивных решений [4]. Этот амбициозный план подкрепляется и экономическими расчетами. По оценкам компаний-производителей, приведенная стоимость «напечатанной» коробки здания может варьироваться от 50 до 75 тыс. рублей за 1 кв. м, что потенциально ниже традиционных методов [3].

Теоретические расчеты и планы дополняются реальными кейсами. В России уже существует несколько знаковых объектов, которые построены с применением 3D-печати и прошли необходимые экспертизы. К ним относятся жилой дом в Ярославле, где официально зарегистрированы жильцы, общественный центр «Мелля» в Татарстане, построенный по заказу «Татнефти», объекты в экопарке «ЯсноПоле» [6]. Указанные проекты демонстрируют как техническую состоятельность технологии, так и ее способность к созданию сложных, выразительных архитектурных форм.

Для объективной оценки места аддитивных технологий в строительстве целесообразно провести их сравнение с традиционными подходами (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ методов строительства.

Параметр	Традиционные методы	Аддитивные подходы (3D-печать)
Скорость возведения	Средняя / Низкая	Высокая (для контура здания)
Стоимость	Средняя	Потенциально низкая, но дорогое оборудование
Трудозатраты	Высокие	Низкие (требуется оператор и подсобные рабочие)
Архитектурная сложность	Ограничена опалубкой и блоками	Высокая (возможность создания криволинейных форм)
Экологичность	Значительное количество отходов	Минимальные отходы материала
Нормативное регулирование	Развитая база	В стадии формирования

составлено автором на основе [5; 7, с. 517].

Несмотря на очевидные преимущества, широкое применение технологии сталкивается с рядом серьезных барьеров. Во-первых, — дороговизна самого оборудования, высокий порог входа на рынок, что требует перестройки производственных цепочек и обучения персонала. Во-вторых, существует проблема материаловедения — для печати нужны специализированные смеси, производство которых пока недостаточно масштабировано. В-третьих, технология на сегодня экономически нецелесообразна для многоэтажного строительства, которое составляет значительную долю строительного рынка России. Ключевым технологическим ограничением здесь служит отсутствие эффективных и сертифицированных методов армирования печатаемых конструкций.

Таким образом, проведенный анализ позволяет заключить, что технология 3D-печати в строительной отрасли России уверенно переходит из категории футуристических концепций в разряд практически применимых инструментов, облада-

ющих значительным трансформирующим потенциалом. В стране сформировалась базовая экосистема, которая представлена отечественными производителями оборудования, разработчиками материалов, научными центрами, первыми успешными проектами, прошедшими государственную экспертизу. Этот процесс активно поддерживается государством, которое видит в аддитивных разработках один из ключевых «драйверов» модернизации и решения стратегической задачи по обеспечению населения доступным жильем. Как представляется, дальнейшее развитие будет идти по пути гибридизации технологий, интеграции 3D-печати с BIM (объектно-ориентированная модель строительного объекта или комплекса строительных объектов, как правило, в трёхмерном виде, с элементами которой связаны данные геометрических, физических и функциональных характеристик), постепенного расширения сферы применения по мере усовершенствования нормативной базы и удешевления решений.

Список литературы:

- [1] Аддитивные технологии в строительстве: от стратегии до нормативов // URL: <https://cifrastroy.ru/posts/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-ot-strategii-do-normativov> (дата обращения: 17.11.2025).
- [2] Баландина, А.А. 3D печать в строительстве: от прототипов к реальным домам / А.А. Баландина // *Современные проблемы материаловедения. Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции.* – Липецк: 2025. – С. 207-211.
- [3] Гоар, С. Успешные кейсы 3D-строительства в России: от экспериментальных проектов к массовому внедрению / С. Гоар // URL: <https://incrossia.ru/news/uspeshnye-kejsy-3d-stroitelstva-v-rossii-ot-eksperimentalnyh-proektov-k-massovomu-vnedreniyu/> (дата обращения: 17.11.2025).
- [4] До 2030 года на 3D-принтерах в России планируется напечатать миллион квадратных метров жилья // URL: <https://erzrf.ru/news/do-2030-goda-na-3d-printerakh-v-rossii-planiruyetsya-napechatat-million-kvadratnykh-metrov-zhilya> (дата обращения: 17.11.2025).
- [5] Поршневу, Р. 3D-печать в стройке – большое будущее, но скромное настоящее / Р. Поршневу // <https://ancb.ru/publication/read/19611> (дата обращения: 17.11.2025).
- [6] Преснов, О.М. Использование технологии 3D-печати бетона для строительства сооружений: возможности и вызовы / О.М. Преснов, А.С. Кулеба, А.П. Волков, Д.И. Хлыстов // *Components of Scientific and Technological Progress.* – 2025. – № 5 (107). – С. 84-89.
- [7] Салех, Э.М. 3D печать как новый метод строительства / Э.М. Салех // *Управленческий учет.* – 2022. – № 4-3. – С. 517-522.
- [8] Федоров, В.С. Аддитивные технологии в строительстве, тенденции развития и прогнозирование роста рынка 3D-печати / В.С. Федоров, А.С. Нестер // *Механики XXI века.* – 2025. – № 24. – С. 49-53.
- [9] Шлапакова, Н.А. Проблема применения 3D-печати зданий в строительстве / Н.А. Шлапакова, С.Ю. Глазкова, Д.М. Ермолаева // *Друкерровский вестник.* – 2025. – № 2 (64). – С. 205-212.

References:

- [1] Additive Technologies in Construction: From Strategy to Standards // URL: <https://cifrastroy.ru/posts/additivnye-tehnologii-v-stroitelstve-ot-strategii-do-normativov> (date of access: 11/17/2025).
- [2] Balandina, A.A. 3D Printing in Construction: From Prototypes to Real Homes / A.A. Balandina // *Modern Problems of Materials Science. Collection of Scientific Papers of the VI International Scientific and Practical Conference.* - Lipetsk: 2025. - Pp. 207-211.
- [3] Goar, S. Successful cases of 3D construction in Russia: from experimental projects to mass implementation / S. Goar // URL: <https://incrossia.ru/news/uspeshnye-kejsy-3d-stroitelstva-v-rossii-ot-eksperimentalnyh-proektov-k-massovomu-vnedreniyu/> (date of access: 11/17/2025).
- [4] By 2030, it is planned to print one million square meters of housing on 3D printers in Russia // URL: <https://erzrf.ru/news/do-2030-goda-na-3d-printerakh-v-rossii-planiruyetsya-napechatat-million-kvadratnykh-metrov-zhilya> (date of access: 11/17/2025).

[5] Porshnev, R. 3D Printing in Construction – a Great Future, but a Modest Present / R. Porshnev // <https://ancb.ru/publication/read/19611> (accessed: 11/17/2025).

[6] Presnov, O.M. Using 3D Printing Technology for Concrete Construction: Opportunities and Challenges / O.M. Presnov, A.S. Kuleba, A.P. Volkov, D.I. Khlystov // *Components of Scientific and Technological Progress*. - 2025. - No. 5 (107). - Pp. 84-89.

[7] Saleh, E.M. 3D Printing as a New Construction Method / E.M. Saleh // *Management Accounting*. - 2022. - No. 4-3. - Pp. 517-522.

[8] Fedorov, V.S. Additive technologies in construction, development trends and forecasting of 3D printing market growth / V.S. Fedorov, A.S. Nester // *Mechanics of the XXI century*. - 2025. - No. 24. - Pp. 49-53.

[9] Shlapakova, N.A. The problem of using 3D printing of buildings in construction / N.A. Shlapakova, S.Yu. Glazkova, D.M. Ermolaeva // *Drucker Bulletin*. - 2025. - No. 2 (64). - Pp. 205-212.



Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

ПРАВА ЧЕЛОВЕКА

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-27-31

ЮЛОВА Анжелика Михайловна,
обучающаяся по программе бакалавриата
Института правового консалтинга
Московского государственного юридического университета
имени О.Е. Кутафина (МГЮА),
Москва, Россия,
e-mail: info@law-books.ru

ВОПРОСЫ ОКАЗАНИЯ БЕСПЛАТНОЙ ЮРИДИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ ГОСУДАРСТВЕННЫМИ ЮРИДИЧЕСКИМИ БЮРО

Аннотация. Государственные юридические бюро (далее - госюрбюро) являются элементом государственной системы обеспечения граждан бесплатной юридической помощью, количество случаев оказания ими такой помощи возрастает с каждым годом. Однако практика осуществления данного вида деятельности показывает несовершенство правового регулирования в названной области, что препятствует реализации гражданами их конституционного права на получение бесплатной юридической помощи. В статье рассматриваются развитие, современное состояние и проблемы оказания бесплатной юридической помощи госюрбюро, автор предлагает пути их решения.

Ключевые слова: бесплатная юридическая помощь, государственные юридические бюро, адвокатура, конституционные права.

YULOVA Anzhelika Mikhailovna,
*undergraduate student at the Institute of Legal Consulting
of the Kutafin Moscow State Law University (MSAL),
Moscow, Russia*

ISSUES OF PROVIDING FREE LEGAL AID BY STATE LAW FIRMS

Annotation. State legal bureaus (hereinafter referred to as «legal bureaus») are an element of the state system for providing citizens with free legal assistance, and the number of cases in which they provide such assistance is increasing every year. However, the practice of providing this type of assistance reveals the imperfections in the legal regulation in this area, which hinders the implementation of citizens' constitutional right to receive free legal assistance. This article examines the development, current state, and challenges of providing free legal assistance by legal bureaus, and suggests ways to address these challenges.

Key words: free legal assistance, legal bureaus, legal profession, constitutional rights.

Среди участников государственной системы оказания бесплатной юридической помощи (далее – Б.Ю.П.) в отдельную группу следует выделить государственные юридические бюро (далее-госюрбюро) – юридические лица, являющиеся казенными учреждениями субъектов РФ. Порядок создания госюрбюро устанавливается в соответствии с Федеральным законом «О бесплатной юридической помощи в Российской Федерации» [5] (далее – Закон о бесплатной юридической помощи), другими федеральными законами, нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации.

В 2024 году количество случаев оказания Б.Ю.П. госюрбюро выросло на 17,8%. Это превышает показатели негосударственных организа-

ций (10%) [6], что говорит о востребованности госюрбюро среди тех категорий граждан, которые имеют право на Б.Ю.П.

Начало деятельности государственных юридических бюро связано с экспериментом, проводимым в 2005 г., предусмотренным Постановлением Правительства РФ от 22 августа 2005 г. № 534 [7]. В его рамках в ряде регионов создавались государственные юридические бюро для оказания помощи определенным категориям граждан на бесплатной основе. Впоследствии бюро сохранили свою деятельность, а также получили финансирование на содержание аппарата согласно Постановлений Правительства РФ от 3 марта 2008 г. №135 [8] и от 25 декабря 2008 г. №1029 [9].

Практика созданных юридических бюро в целом оказалась успешной, о чем свидетельствуют положительные показатели их деятельности. Однако ученые отмечают, что до сих пор госюрбюро сталкиваются с рядом проблем, значительно снижающих эффективность их работы [3]. Ненадлежащее финансирование деятельности государственных юридических бюро из бюджета относят к числу типичных нарушений прав граждан на получение квалифицированной юридической помощи [1].

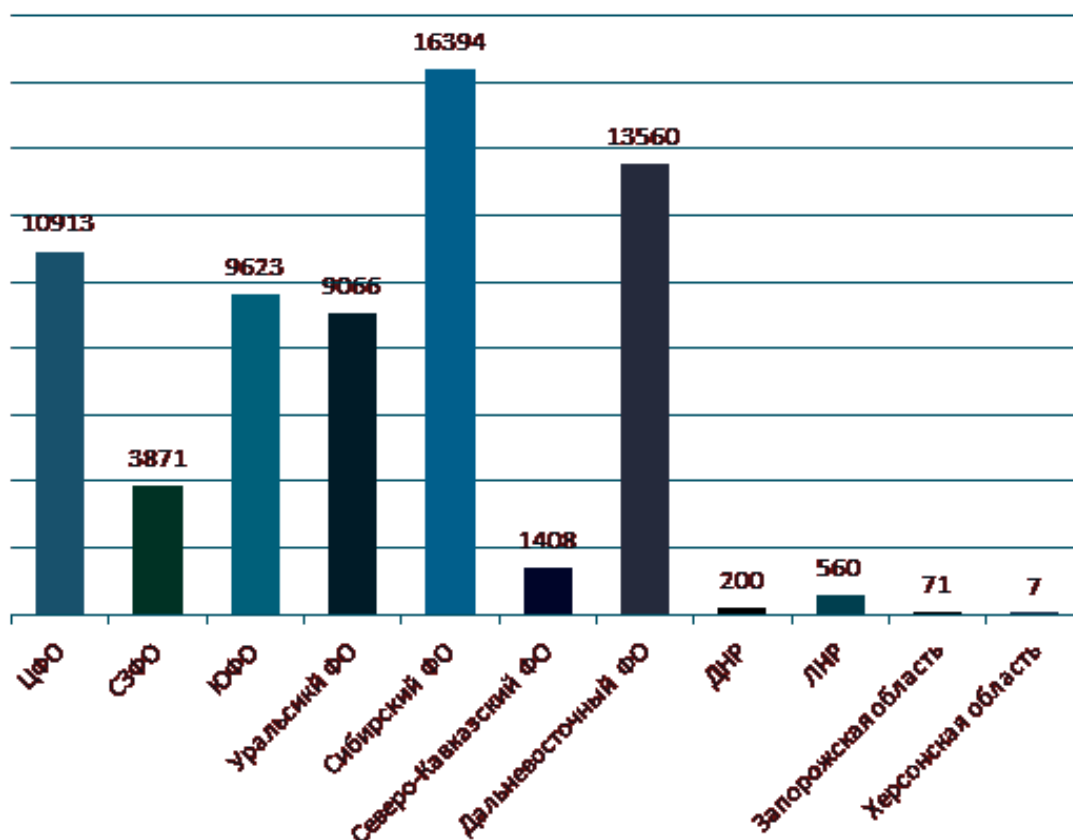
В 2024 году, согласно сведениям Минюста РФ, в России открыто 53 госюрбюро [10], тогда как еще в 2023 г. их было лишь 29 [4]. В обозримом будущем их число должно увеличиться, поскольку Президентом РФ было рекомендовано исполнительным органам субъектов Российской Федерации, в которых не созданы государственные юридические бюро, принять меры по их созданию [11].

Госюрбюро оказывают услуги по правовому консультированию в устной и письменной форме, составляют заявления, жалобы, ходатайства и другие документы правового характера, а также

представляют интересы граждан в судах, государственных и муниципальных органах, организациях.

Госюрбюро реализуют программы по правовому просвещению населения, для этого бюро проводит просветительские мероприятия, распространяет брошюры и буклеты по наиболее востребованным правовым вопросам. Например, 17 февраля 2025 года юристы ГКУ Московской области «Госюрбюро» провели семинар по правовому просвещению в проекте «Мамино время» [12]. На базе проекта «Госюрбюро» решаются правовые вопросы родителей детей-инвалидов. В рамках проводимого мероприятия юристы и специалисты в области социального обеспечения предоставляют гражданам индивидуальные консультации о социальных льготах и гарантиях. В это время на территории РФ функционировал 80 331 консультативный пункт и количество таких пунктов увеличивается с каждым годом. Пункты оказания Б.Ю.П. действуют и в новых субъектах Российской Федерации. Данные представлены в приведенной ниже диаграмме.

Таблица 1.



Поскольку пока госюрбюро работают в 53 регионах, остается значительное число субъектов РФ, в которых нет госюрбюро. Уманская В.П. отмечают, что «в ряде регионов отдельные функции по оказанию бесплатной юридической помощи возложены на государственные казенные учреждения в сфере социальной поддержки населения либо в сфере обеспечения деятельности мировых судей» [5].

В 2021 году Министерством юстиции Российской Федерации было предложено во всех регионах нашей страны создать государственные юридические бюро, специалисты которых будут оказывать юридическую помощь. На первый взгляд предложение предполагает поддержку, однако, по нашему мнению, данный шаг будет иметь и негативные последствия. Обращаясь к адвокату, гражданин имеет ряд гарантий: получение квалифицированной юридической помощи, конфиденциальность сообщенных адвокату сведений, а также ответственность адвоката за качество оказанной им юридической помощи, что закреплено статьями 1, 8, 17 Федерального закона от 31 мая 2002 г. № 63-ФЗ (ред. от 22.04.2024) «Об адвокатской деятельности и адвокатуре в Российской Федерации» [13]. Вместе с тем на государственные юридические бюро закон не распространяет ни одну из приведенных гарантий.

В настоящий момент существует еще одна проблема, связанная с деятельностью госюрбюро, которая заключается в отсутствии в их штате должного количества квалифицированных специалистов. По мнению В.К. Аулова вызывает сомнение результативность государственных юридических бюро. Под этой вывеской могут скрываться лица, приоритетом деятельности которых предоставление юридической помощи может и не оказаться [2].

Правовое регулирование оказания Б.Ю.П. силами госюрбюро развивается. Так в 2024 г. Министерством юстиции РФ утвержден стандарт оказания бесплатной юридической помощи такими бюро [14] (далее – Стандарт). Однако он не охватывает вопросы гарантий оказания такой помощи, в том числе в части ответственности специалистов бюро, соблюдения ими конфиденциальности полученных сведений, не содержит требований к квалификации специалистов госюрбюро. Стандарт стимулирует госюрбюро к качественному оказанию помощи фактически только за счет введения обязанности бюро направлять в территориальные органы Минюста РФ опросных листов с отзывами об удовлетворенности

граждан полученной в госюрбюро помощи (п. 21 Стандарта). Именно удовлетворенность граждан качеством и доступностью помощи, а также отсутствие жалоб названы в Стандарте единственными характеризующими признаками качества помощи (п. 24 Стандарта). Однако это не может компенсировать отсутствие нормативного закрепления названных выше гарантий. В том числе, такой вывод связан со следующим. Граждане, обратившиеся за оказанием помощи в госюрбюро, не обязаны заполнять опросные листы, а уровень юридической подготовки таких граждан не позволяет им правильно оценить полученную в бюро консультацию, а значит, объективно сформировать вывод о качестве предоставленной помощи. Например, при получении от специалиста заверений о бесперспективности попыток совершения юридических действий, на которые рассчитывал гражданин, он не сообщит о своей неудовлетворенности даже в том случае, если такие заверения были безосновательными. Равно как и наоборот, гражданин может остаться неудовлетворенным даже в случае оказания качественной помощи при отказе в его исковых требованиях.

Подводя итог, следует отметить, что государственные юридические бюро являются важной и неотъемлемой частью государственной системы оказания Б.Ю.П. Однако, проблемы доступности и качества деятельности данных организаций обуславливают возникновение вопросов о том, насколько гражданину выгодно обращаться за помощью именно к госюрбюро, а не к другим участникам государственной системы Б.Ю.П., насколько помощь, оказанная ему, будет качественной, а специалисты государственных юридических бюро квалифицированы. Для совершенствования деятельности государственных юридических бюро нами было предложено следующее: введение на законодательном уровне квалификационных требований к специалистам госюрбюро, установление гарантий, предоставляемых гражданину при предоставлении бесплатной юридической помощи специалистами госюрбюро, расширение сети таких учреждений во всех субъектах Российской Федерации. Представляется, что данные меры будут способствовать значительному повышению качества оказания такой помощи, ее надежности и доступности, а также более успешной реализации конституционного права гражданина на получение бесплатной юридической помощи, укрепят доверие граждан к государственным юридическим бюро.

Список литературы:

[1] Аберхаев А.Р., Александрова Л.И., Андреев Б.В. и др. *Настольная книга прокурора (в двух частях, часть первая; под общ. ред. д.ю.н., проф., проф. РАН О.С. Капинус, С.Г. Кехлерова; научн. ред. д.ю.н., проф. А.Ю. Винокуров; 5-е изд., перераб. и доп.). - М.: «Издательство Юрайт», 2019.*

[2] Аулов В.К. *Квалифицированная юридическая помощь: классификация субъектов ее предоставления и эффективность их работы // Право в Вооруженных Силах. 2024. № 10. С. 41–49.*

- [3] Зайков Д.Е. Запрос государственного юридического бюро: проблемы правового регулирования // Российский юридический журнал. 2021. № 6. С. 26–32.
- [4] Загорский Г.И., Попов К.И. Судебные и правоохранительные органы: курс лекций: в 2 т. / под ред. Г.И. Загорского. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Проспект, 2023. Т. 2: Судебные и правоохранительные органы. Курс лекций в 2 томах. Том 2. Правоохранительная деятельность. - 272 с.
- [5] Уманская В.П. Практика организации бесплатной юридической помощи: опыт субъектов Российской Федерации // Административное право и процесс. 2025. №9. С. 41-44.
- [6] Федеральный закон от 21 ноября 2011 г. № 324-ФЗ (ред. от 04.11.2025) «О бесплатной юридической помощи в Российской Федерации» // СЗ РФ. 2011. № 48. Ст. 6725.
- [7] Доклад о реализации государственной политики в области обеспечения граждан бесплатной юридической помощью в 2024 году. // Министерство юстиции РФ. URL: <https://minjust.gov.ru/> (дата обращения: 20.04.2025 г.)
- [8] Постановление Правительства РФ от 22.08.2005 № 534 (ред. от 13.11.2006) «О проведении эксперимента по созданию государственной системы оказания бесплатной юридической помощи малоимущим гражданам» (вместе с «Положением об оказании бесплатной юридической помощи малоимущим гражданам») // Собрание законодательства РФ. 2005. № 35. Ст. 3615. Утратил силу.
- [9] Постановление Правительства РФ от 25.12.2008 № 1029 «О государственных юридических бюро» (вместе с «Положением об оказании бесплатной юридической помощи государственными юридическими бюро») // Собрание законодательства РФ. 2009. № 2. Ст. 229. Утратил силу.
- [10] Доклад о реализации государственной политики в области обеспечения граждан бесплатной юридической помощью за 2024 год. // Министерство юстиции РФ. URL: <https://minjust.gov.ru/ru/pages/pravovaya-informaciya/besplatnaya-yuridicheskaya-pomosh/> (дата обращения: 15.09.2025).
- [11] Перечня поручений по итогам совещания с членами Правительства РФ, утв. Президентом Российской Федерации 5 декабря 2024 г. № Пр-2567). П. 5. // Администрация президента России. URL: <http://www.kremlin.ru>. 6 декабря 2024 г. (дата обращения: 15.12.2025).
- [12] Юристы бюро провели семинар по правовому просвещению в проекте «Мамино время». // Государственное казенное учреждение Московской области «Госюрбюро»: сайт. URL: <https://buro.mosreg.ru/sobytiya/novosti-ov/yuristy-byuro-proveli-seminar-po-pravovomu-prosveshheniyu-v-proekte-mamino-vremya> (дата обращения: 10.12.2025).
- [13] Собрание законодательства РФ. 2002. № 23. Ст. 2102.
- [14] Приказ Минюста России от 20.05.2024 № 157 «Об утверждении стандарта оказания бесплатной юридической помощи субъектами, указанными в пункте 4 части 1 и части 2 статьи 15, части 2 статьи 22 Федерального закона от 21.11.2011 № 324-ФЗ «О бесплатной юридической помощи в Российской Федерации», и порядка обеспечения контроля за соблюдением его требований». // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?searchres=&bpas=cd00000&intelsearch=%CF%F0%E8%EA%E0%E7+%CC%E8%ED%FE%F1%F2%E0+%D0%EE%F1%F1%E8%E8+%EE%F2+20.05.2024+N+157&sort=-1> (дата обращения: 10.09.2025 г.).

References:

- [1] Aberkhaev A.R., Aleksandrova L.I., Andreev B.V., et al. *The Prosecutor's Handbook (in two parts, part one; edited by Doctor of Law, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences O.S. Kapinus, S.G. Kekhlerova; scientific editors: Doctor of Law, Professor A.Yu. Vinokurov; 5th edition, revised and enlarged)*. - Moscow: «Yurait Publishing House», 2019.
- [2] Aulov V.K. *Qualified Legal Aid: Classification of the Entities Providing It and the Effectiveness of Their Work // Law in the Armed Forces*. 2024. No. 10. pp. 41–49.
- [3] Zaikov D.E. *Request from a State Law Office: Problems of Legal Regulation // Russian Law Journal*. 2021. No. 6. pp. 26–32.
- [4] Zagorsky, G.I., Popov, K.I. *Judicial and Law Enforcement Agencies: Lecture Course in 2 Volumes / edited by G.I. Zagorsky*. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: Prospect, 2023. Vol. 2: *Judicial and Law Enforcement Agencies. Lecture Course in 2 Volumes. Volume 2. Law Enforcement Activities*. - 272 p.
- [5] Umanskaya, V.P. *Practice of Organizing Free Legal Aid: Experience of Subjects of the Russian Federation // Administrative Law and Process*. 2025. No. 9. pp. 41–44.
- [6] *Federal Law of November 21, 2011 No. 324-FZ (as amended on November 4, 2025) «On Free Legal Aid in the Russian Federation» // Collected Legislation of the Russian Federation*. 2011. No. 48. Article 6725.
- [7] *Report on the implementation of state policy in the field of providing citizens with free legal aid in 2024. // Ministry of Justice of the Russian Federation*. URL: <https://minjust.gov.ru/> (accessed: 20.04.2025)
- [8] *RF Government Resolution of 22.08.2005 No. 534 (as amended on 13.11.2006) «On conducting an experiment to create a state system for providing free legal aid to low-income citizens» (together with the «Regulations on the provision of free legal aid to low-income citizens») // Collected Legislation of the Russian Federation*. 2005. No. 35. Article 3615. No longer in effect.

[9] Resolution of the Government of the Russian Federation of 25.12.2008 No. 1029 «On State Law Bureaus» (together with the «Regulation on the Provision of Free Legal Aid by State Law Bureaus») // Collected Legislation of the Russian Federation. 2009. No. 2. Article 229. No longer in effect.

[10] Report on the Implementation of State Policy in the Field of Providing Citizens with Free Legal Aid for 2024. // Ministry of Justice of the Russian Federation. URL: <https://minjust.gov.ru/ru/pages/pravovaya-informaciya/besplatnaya-yuridicheskaya-pomosh/> (date of access: 15.09.2025).

[11] List of Instructions Following the Meeting with Members of the Government of the Russian Federation, approved by the President of the Russian Federation on December 5, 2024 No. Pr-2567). P. 5. // Administration of the President of Russia. URL: <http://www.kremlin.ru>. December 6, 2024 (accessed on December 15, 2025).

[12] The bureau's lawyers held a seminar on legal education as part of the «Mom's Time» project. // State Budgetary Institution of the Moscow Region «Gosyurburo»: website. URL: <https://buro.mosreg.ru/sobytiya/novosti-ov/yuristy-byuro-proveli-seminar-po-pravovomu-prosveshheniyu-v-proekte-mamino-vremya> (accessed on December 10, 2025).

[13] Collected Legislation of the Russian Federation. 2002. No. 23. Art. 2102.

[14] Order of the Ministry of Justice of Russia dated 20.05.2024 No. 157 «On approval of the standard for the provision of free legal aid by entities specified in paragraph 4 of part 1 and part 2 of Article 15, part 2 of Article 22 of the Federal Law of 21.11.2011 No. 324-FZ «On Free Legal Aid in the Russian Federation», and the procedure for ensuring control over compliance with its requirements.» // Official Internet Portal of Legal Information. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?searchres=&bpas=cd00000&intelsearch=%CF%F0%E8%EA%E0%E7+%CC%E8%ED%FE%F1%F2%E0+%D0%EE%F1%F1%E8%E8+%EE%F2+20.05.2024+N+157&sort=-1> (date of access: 10.09.2025).



**ЮРИДИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЮРКОМПАНИ»**

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

ИСТОРИЯ ГОСУДАРСТВА И ПРАВА ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.
DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-32-36

ПОГОРЕЛОВ Николай Владимирович,
кандидат экономических наук, Доцент Высшей школы сервиса и торговли,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Доцент кафедры управления в сфере туризма и гостиничного бизнеса
РАНХиГС
e-mail: hotelier@tohology.com

БОРИСОВА Елизавета Андреевна,
студент,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
e-mail: elisaveta.borisova05@mail.ru

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА И АДАПТАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДОХОДАМИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГОСТИНИЧНОГО БИЗНЕСА

Аннотация. В рамках данного исследования проведено сопоставление двух систем управления доходами (RMS) — отечественного продукта Hotellab и зарубежного решения IDeaS. Сравнительная оценка выполнена в контексте их применения в сфере гостиничного хозяйства. Предметом анализа выступают архитектурные и функциональные расхождения между системами. Отдельное внимание уделяется потенциалу их интеграции. Анализ позволил определить конкурентные преимущества и недостатки рассматриваемых платформ в контексте их приспособленности к специфике российских рыночных реалий. В работе проанализированы характерные трудности, возникающие при внедрении систем управления доходами. На основе этого анализа сформулированы принципы отбора RMS, адаптированные под специфику гостиниц различных категорий и размеров. Практические рекомендации по внедрению сформулированы с оглядкой на два критических фактора: текущее состояние технологической инфраструктуры и фактическую квалификацию сотрудников. В завершающей части работы прослеживаются ключевые векторы эволюции систем управления доходами.

Среди них — слияние с технологиями искусственного интеллекта и интернета вещей. Параллельно наблюдается становление комплексных экосистемных решений, призванных обеспечить тотальную цифровую трансформацию гостиничного бизнеса.

Ключевые слова: управление доходами, RMS, гостиничный бизнес, ценообразование, аналитика, автоматизация, Hotellab, IDeaS, сравнительный анализ.

POGORELOV Nikolay Vladimirovich,
PhD in Economics, Associate Professor, Higher School of Service and Trade,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Associate Professor, Department of Tourism and Hotel Management,
RANEPA

BORISOVA Elizaveta Andreevna,
Student,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

THE PROBLEM OF SELECTION AND ADAPTATION OF REVENUE MANAGEMENT SYSTEMS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF DOMESTIC AND FOREIGN SOLUTIONS FOR THE HOSPITALITY INDUSTRY

Annotation. *The article provides a comparative analysis of two revenue management systems (RMS) — the Russian platform Hotellab and the international solution IDeaS — in the context of the hotel industry. The study focuses on the architectural and functional differences between these systems, as well as their integration capabilities. The strengths and limitations of each platform are identified from the standpoint of adaptation to the Russian market. Typical implementation challenges are examined, and criteria for selecting an RMS for hotels of different types and scales are proposed. Based on the analysis, practical recommendations for implementation are provided, taking into account infrastructure readiness and staff training levels. In conclusion, trends in the development of revenue management technologies are outlined, including integration with AI and IoT, as well as the formation of ecosystem solutions for the digital transformation of the hospitality industry.*

Key words: *revenue management, RMS, hotel business, pricing, analytics, automation, Hotellab, IDeaS, comparative analysis.*

Усложняющаяся динамика управления доходами становится отличительной чертой современного гостиничного бизнеса, что напрямую связано с процессами цифровизации и обостряющейся конкуренцией.

Перед российским сегментом отельного сервиса встает вызов адаптации к изменившимся экономическим условиям, где приоритеты импортозамещения и технологической независимости выходят на первый план.

Сравнительное исследование ключевых RMS-решений в подобной ситуации обретает двойную актуальность: оно представляет интерес как с академической, так и с сугубо прикладной точки зрения для национальных игроков рынка гостеприимства.

Вопросы, связанные с развитием информационных технологий и электронной коммерции в сфере туризма и гостеприимства, детально проанализированы в академических исследованиях. В этой связи особую актуальность приобретает revenue-менеджмент как центральный элемент управления гостиничным или туристическим предприятием.

Его суть заключается в динамичном ценообразовании: менеджеры намеренно занижают стоимость услуг в периоды низкого спроса и, напротив, увеличивают тарифы при всплеске потребительского интереса.

Благодаря современным программным комплексам подобная корректировка цен стала возможной не только в разрезе сезонов, но и в режиме реального времени, что кардинально повышает оперативность и результативность всей ценовой политики [1; 2].

Историческое развитие систем управления доходами представляет собой закономерный сдвиг. Начавшись с элементарных методик установления цен, оно привело к формированию сложных экосистем. В их ядре сегодня лежит глубокая интеграция алгоритмов машинного обучения и предиктивной аналитики, формирующих единый прогнозно-оптимизационный контур.

Нынешние системы управления доходами (RMS) — это высокотехнологичные программные платформы, которые анализируют колоссальные массивы информации, предлагая наиболее выгодные управленческие решения без задержек.

Их эволюция ведет к превращению в стержневой компонент цифровой экосистемы отеля, что и диктует исключительную важность взвешенного подхода к их внедрению [3].

Многоуровневая архитектура систем управления доходом (RMS) закладывает фундамент для последовательного сбора и углубленного анализа данных. Сердцевину этого механизма составляют алгоритмы машинного обучения и нейросетевые модели.

Их применение позволяет системам не просто адаптироваться к сиюминутным рыночным изменениям, но и с высокой долей вероятности предсказывать будущие тренды, выстраивая превентивные стратегии ценообразования.

Критически значимым качеством RMS выступает их способность к бесшовной интеграции с внешними разнородными источниками: системами бронирования, дистрибутивными онлайн-платформами и CRM. Подобная консолидация формирует единое информационное поле, необходимое для взвешенных управленческих решений [4].

Анализ функционала платформы Hotellab позволяет выявить её целевую настройку на решение характерных задач российского гостиничного сегмента. Эта система показывает отличную работоспособность, что особенно важно в российских реалиях с их выраженной сезонностью спроса и специфическими паттернами потребительских предпочтений.

Конструкция платформы изначально закладывает возможность тесного взаимодействия с наиболее востребованными в отечественной практике системами гостиничной автоматизации. Это позволяет минимизировать издержки, связанные с её внедрением и последующей настройкой под конкретные бизнес-процессы. Отличительная черта платформы Hotellab — гибридный подход к алгоритмам. В его основе лежит синтез машинного обучения и экспертной аналитики.

Такое сочетание гарантирует достоверность прогнозных моделей, не лишая систему оперативной гибкости в управлении. Данная система оптимальна для гостиниц малого и среднего сегмента. Её главные преимущества — лёгкость интеграции и гибкость, позволяющая учитывать специфику локального рынка [5].

Исследование глобальной платформы IDeaS

позволяет выявить её сильные стороны, прежде всего, в работе со сложными, многоаспектными массивами информации и создании нетривиальных прогнозных конструкций. В ситуациях резких колебаний потребительского спроса и острой конкурентной борьбы система демонстрирует впечатляющую результативность. Задействованная в её основе парадигма распределённой обработки данных гарантирует исключительную способность к масштабированию и высокий уровень отказоустойчивости.

Отличительная черта IDeaS заключается во внедрении изощренных алгоритмов, нацеленных на максимизацию доходности.

Эти механизмы принимают в расчет не просто классические параметры — уровень загрузки и средний чек, но и целый спектр интегральных показателей, отражающих ценность клиента и степень его приверженности. Платформа особенно эффективна при управлении масштабными сетевыми активами, для которых характерна запутанная структура поступлений и диверсифицированный набор сервисов.

Именно в таких условиях становится критически важной возможность проведения детализированного анализа и выработки долгосрочных стратегических решений [6].

Внедрение систем управления доходами (RMS) в гостиничном бизнесе неизбежно влечет за собой глубокую перестройку существующих операционных процедур. Центральное место в этом процессе занимает кадровый вопрос: персонал нуждается в специальном обучении, а сама организационная структура должна быть пересмотрена для эффективного взаимодействия с аналитическими инструментами. Отечественные отели сталкиваются с дополнительным барьером — необходимостью стыковки морально устаревших технологических решений с современными RMS-платформами, что зачастую предполагает масштабные вложения в обновление IT-архитектуры.

Отдельный вызов — обеспечение качества и актуальности исходных данных.

Достоверность прогнозных моделей RMS находится в прямой зависимости от полноты и точности входящей информации, что вынуждает внедрять комплексные механизмы ее верификации и постоянного аудита [7].

Сопоставление действенности анализируемых программных комплексов выявляет неодинаковую сферу их целесообразного использования, которая обусловлена размерами и спецификой конкретного отеля.

Продукт отечественной разработки Hotellab демонстрирует максимальную отдачу в нише малых и средних предприятий индустрии гостеприимства. Критически значимыми здесь становятся лёгкость интеграции и способность к ка-

стомизации под местные рыночные особенности. В свою очередь, глобальная платформа IDeaS подтверждает своё лидерство при администрировании масштабных сетевых объектов, характеризующихся разветвлённой и многоуровневой структурой выручки. Формируя решение о внедрении, управленцам следует принимать во внимание целый спектр обстоятельств: актуальные операционные задачи, долгосрочные бизнес-амбиции, степень технологической оснащённости предприятия и профессиональную подготовку кадров [8]. Дальнейшая эволюция систем управления доходами (RMS) будет определяться их слиянием с передовыми технологическими платформами. В частности, применение блокчейна способно кардинально трансформировать логистику и прозрачность цепочек поставок. Параллельно внедрение интернета вещей открывает возможности для получения детализированных данных о реальных паттернах потребительского поведения. Одновременно с этим прослеживается отчетливый вектор на формирование комплексных экосистем. В таких решениях функции управления доходами органично переплетаются с маркетинговыми стратегиями, клиентским сервисом и операционными процессами, создавая единый управленческий контур.

В контексте российского рынка создание собственных RMS-платформ становится насущной необходимостью, что напрямую связано с задачей обеспечения технологической независимости в эпоху глобальных потрясений.

Прогресс в этой сфере напрямую зависит от умения разработчиков создавать гибкие продукты. Такие решения должны не просто обладать мощным аналитическим ядром, но и быть максимально прикладными, решая конкретные операционные и стратегические проблемы отельного бизнеса [9].

Результаты исследования обосновывают важность дифференциации при подборе систем управления доходами для гостиничного бизнеса.

На локальном рынке отечественная платформа Hotellab проявляет заметные конкурентные качества. Между тем, в премиальном сегменте сетевых отелей безусловное лидерство удерживает международное решение IDeaS.

Реализация и последующее функционирование систем управления доходами (RMS) напрямую увязаны с готовностью отелей к структурным изменениям и вложениям в персонал.

Для отечественной индустрии гостеприимства, стоящей на пороге цифровой трансформации, актуальной научной задачей становится создание специализированных оценочных инструментов, позволяющих измерить результативность таких систем в конкретных рыночных условиях.

Список литературы:

- [1] Погорелов Н. В. Основы формирования системы продвижения гостиничных услуг на базе внедрения информационных технологий / Н. В. Погорелов // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. — 2013. — № 5(64). — С. 181–183.
- [2] Погорелов Н.В. Бизнес планирование в области информационных технологий и маркетинга в сфере индустрии туризма и гостеприимства: тенденции и перспективы / Н. В. Погорелов // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. — 2012. — № 6. — С. 209–212.
- [3] Буравчикова, Т. В., Водопьянова, Е. В. Технологические решения управления доходами в гостиничном бизнесе // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. — 2020. — № 2 1. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-resheniya-upravleniya-dohodami-v-gostinichnom-biznese> (дата обращения: 15.11.2025).
- [4] RMS для гостиницы: как увеличить доход уже сегодня? — [Электронный ресурс]. — URL: <https://vc.ru/id2698629/1463239-rms-dlya-gostinicy-kak-uvlichit-dohod-uzhe-segodnya> (дата обращения: 19.11.2025).
- [5] Геллерт, Е. А. Исследование вопросов управления доходами в гостинице // Экономика и социум. — 2016. — № 11 2(30). — [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-voprosov-upravleniya-dohodami-v-gostinitse> (дата обращения: 15.11.2025).
- [6] Коновалова, Е.Е., Деменев, А. В., Пышной, А. А. Инновационные цифровые технологии управления доходами в гостиничном бизнесе // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. — 2019. — № 2. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tsifrovye-tehnologii-upravleniya-dohodami-v-gostinichnom-biznese> (дата обращения: 15.11.2025).
- [7] Корж, Н., Онищук, Н. Выбор оптимального набора инструментов управления доходами в отелях // Технологический аудит и резервы производства. — 2018. — № 4(39). — [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/selection-of-the-optimal-set-of-revenue-management-tools-in-hotels> (дата обращения: 18.11.2025).
- [8] Рогожа, А. И. Сравнительный анализ российских систем business intelligence // Скиф. Вопросы студенческой науки. — 2022. — № 8(72). — [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-rossiyskih-sistem-business-intelligence> (дата обращения: 15.11.2025).
- [9] Панфилова, Е. Е. Отечественный и зарубежный опыт управления доходностью бизнеса в условиях кризиса // Московский экономический журнал. — 2021. — № 5. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otechestvennyy-i-zarubezhnyy-opyt-upravleniya-dohodnostyu-biznesa-v-usloviyah-krizisa> (дата обращения: 15.11.2025).

References:

- [1] Pogorelov N. V. Fundamentals of Forming a Hotel Services Promotion System Based on the Introduction of Information Technologies / N. V. Pogorelov // Bulletin of INZHEKON. Series: Economy. - 2013. - No. 5 (64). - P. 181-183.
- [2] Pogorelov N. V. Business Planning in the Field of Information Technologies and Marketing in the Tourism and Hospitality Industry: Trends and Prospects / N. V. Pogorelov // Bulletin of INZHEKON. Series: Economy. - 2012. - No. 6. - P. 209-212.
- [3] Buravchikova, T. V., Vodopyanova, E. V. Technological Solutions for Revenue Management in the Hotel Business // Bulletin of the Association of Universities of Tourism and Service. - 2020. - No. 2 1. - [Electronic resource]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-resheniya-upravleniya-dohodami-v-gostinichnom-biznese> (date of access: 15.11.2025).
- [4] RMS for a hotel: how to increase revenue today? — [Electronic resource]. — URL: <https://vc.ru/id2698629/1463239-rms-dlya-gostinicy-kak-uvlichit-dohod-uzhe-segodnya> (date of access: 19.11.2025).
- [5] Gellert, E. A. Research of revenue management issues in a hotel // Economy and Society. — 2016. — No. 11 2(30). — [Electronic resource]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-voprosov-upravleniya-dohodami-v-gostinitse> (date of access: 15.11.2025).
- [6] Konovalova, E.E., Demenev, A.V., Pyshnoy, A.A. Innovative digital technologies for revenue management in the hotel business // Bulletin of the Association of Universities of Tourism and Service. — 2019. — No. 2. — [Electronic resource]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tsifrovye-tehnologii-upravleniya-dohodami-v-gostinichnom-biznese> (date of access: 15.11.2025).
- [7] Korzh, N., Onishchuk, N. Selecting the Optimal Set of Revenue Management Tools in Hotels // Technological Audit and Production Reserves. - 2018. - No. 4 (39). - [Electronic resource]. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/selection-of-the-optimal-set-of-revenue-management-tools-in-hotels> (accessed: 11/18/2025).
- [8] Rogozha, A. I. Comparative Analysis of Russian Business Intelligence Systems // Skif. Issues of Student Science. - 2022. - No. 8 (72). - [Electronic resource]. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/>

sravnitelnyy-analiz-rossiyskih-sistem-business-intelligence (accessed: 11/15/2025).

[9] Panfilova, E. E. Domestic and Foreign Experience in Managing Business Profitability in a Crisis // Moscow Economic Journal. - 2021. - No. 5. - [Electronic resource]. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otechestvennyy-i-zarubezhnyy-opyt-upravleniya-dohodnostyu-biznesa-v-usloviyah-krizisa> (date of access: 11/15/2025).



**ЮРИДИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЮРКОМПАНИ»**

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

ИСТОРИЯ ГОСУДАРСТВА И ПРАВА РОССИИ

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-37-42

МОЛЧАНОВ Сергей Сергеевич,

ассистент,

Российский университет транспорта (МИИТ),

e-mail: mol4anov.mo2017@yandex.ru

ПЛАКАТЫ КАК ИНСТРУМЕНТ МОБИЛИЗАЦИИ И РЕПРЕЗЕНТАЦИИ РОЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКОВ И ПАРОВОЗОВ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Аннотация. Статья посвящена анализу советских плакатов, использовавшихся в годы Великой Отечественной, которые отображали героизм и самоотверженную работу железнодорожников. В условиях войны, когда железнодорожный транспорт имел стратегическое значение для обеспечения фронта и тыла, плакаты стали мощным инструментом пропаганды, формировавшим общественное мнение, поддерживавшим моральный дух населения и стимулировавшим самоотверженную работу тружеников тыла. Методология исследования включает анализ визуальных образов и текстовых сообщений плакатов, посвященных труженикам железных дорог, а также изучение их художественно-выразительных средств, символики и риторических приемов, направленных на мобилизацию трудовых ресурсов.

В работе рассматриваются ключевые темы пропаганды: героизация труда железнодорожников, акцент на стратегической важности бесперебойных перевозок, призывы к дисциплине, бдительности и повышенной ответственности, а также формирование образа врага как угрозы транспортной системе страны. Анализ конкретных плакатов позволяет выявить, каким образом визуальные и текстовые элементы создавали ощущение сопричастности к общему делу и подчеркивали неразрывное единство фронта и тыла.

Сделанные выводы демонстрируют, что плакаты военного времени являлись не только средством идеологического воздействия, но и важным историческим источником, отражающим особенности восприятия труда железнодорожников в контексте борьбы за победу. Исследование способствует более глубокому пониманию механизмов советской визуальной пропаганды и роли транспортной отрасли в годы войны.

Ключевые слова: Великая Отечественная война, плакаты, пропаганда, железнодорожники, паровозы, мобилизация, репрезентация, советское искусство.

Sergey Sergeevich MOLCHANOV,

Assistant,

Russian University of Transport (MIIT)

POSTERS AS A MEANS OF MOBILIZATION AND REFLECTION OF THE ROLE OF RAILWAY WORKERS AND LOCOMOTIVES DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

Annotation. This article analyzes Soviet posters used during the Great Patriotic War, which depicted the heroism and brave work of railway workers. In wartime, when rail transport was of strategic importance for supplying the front and the rear, posters became a powerful propaganda tool that shaped public opinion, supported the morale of the population, and stimulated the selfless work of workers in the rear. The research methodology includes an analysis of the visual images and text messages of posters dedicated to railway workers, as well as a study of their artistic and expressive means, symbols, and rhetorical techniques aimed at mobilizing labor resources.

The work examines the key subjects of propaganda: the glorification of railway workers' labor, the emphasis on the strategic importance of uninterrupted transportation, calls for discipline, vigilance, and increased responsibility, as well as the formation of the image of the enemy as a threat to the country's

transportation system. An analysis of specific posters reveals how visual and textual elements created a sense of involvement in the common cause and emphasized the inseparable unity of the front and the rear.

The conclusions drawn demonstrate that wartime posters were not only a means of ideological influence, but also an important historical source reflecting the peculiarities of the perception of railway workers' labor in the context of the struggle for victory. The study contributes to a deeper understanding of the mechanisms of Soviet visual propaganda and the role of the transport industry during the war years.

Key words: Great Patriotic War, Posters, Propaganda, Railway Workers, Locomotives, Mobilization, Representation, Soviet Art.

Введение

Великая Отечественная война – одна из самых трагичных и героических страниц в истории России. В этот период мобилизация всех ресурсов страны на борьбу с врагом стала жизненно необходимой. Одним из важнейших инструментов мобилизации являлась пропаганда, которая формировала общественное мнение, поддерживала моральный дух и призывала к самоотверженному труду. Советский плакат, как один из наиболее массовых и доступных видов искусства, играл ключевую роль в этой пропагандистской кампании [1, с.7, 8].

Плакат времен Великой Отечественной войны представляет собой уникальный исторический источник, отражающий идеологические установки, политические задачи и социальные настроения эпохи. Яркие визуальные образы и лаконичные текстовые сообщения, используемые в плакатах, оказывали мощное воздействие на сознание и поведение людей, мобилизуя их на борьбу с врагом [12, с.190, 191].

В условиях военного времени, когда железнодорожный транспорт играл ключевую роль в обеспечении нужд фронта и тыла, плакаты, посвященные труженикам железных дорог, приобрели особое значение. Эти плакаты не только призывали к самоотверженному труду и бдительности, но и формировали образ железнодорожника как героя труда, обеспечивающего бесперебойную работу «военной машины». Изображения мощных паровозов, мчащихся по заснеженным степям, символизировали силу и мощь советской промышленности, а изображения железнодорожников, работающих под бомбежками, подчеркивали их мужество и героизм.

Данное исследование посвящено анализу плакатов, посвященных труженикам железнодорожного транспорта в годы Великой Отечественной войны, как инструменту мобилизации и презентации их роли в обеспечении победы над врагом.

Основная часть

Советский плакат периода Великой Отечественной войны представляет собой не только ценный источник информации об идеологических установках и политических задачах того времени, но и эффективный инструмент воздействия на сознание и поведение различных социальных

групп [11, с.326]. Анализ плакатов, посвященных труженикам железнодорожного транспорта, позволяет раскрыть механизмы мобилизации этой профессиональной группы по обеспечению бесперебойной работы тыла и поддержки фронта.

Одним из ключевых направлений пропагандистского воздействия на железнодорожников являлось формирование у них чувства причастности к общему делу борьбы с врагом [2, с.14]. Эта идея проводилась через различные визуальные и текстовые образы, подчеркивающие неразрывную связь между трудом железнодорожников и успехами Красной Армии. Плакат В.М. Елина «Железнодорожный транспорт - родной брат Красной Армии. Охраняйте советский транспорт, берегите его!» [3] являлся одним из наиболее ярких примеров такого подхода. Сравнение железнодорожного транспорта с «родным братом» армии создавало ощущение единства целей и задач, подчеркивало, что труд железнодорожников является неотъемлемой частью общей борьбы. Данный плакат представляет собой лаконичное, но мощное средство мобилизации, используя строгую черно-белую гамму с акцентом на красном тексте, символизирующем силу и победу. В центре композиции – паровоз с вагонами, олицетворяющий стратегическую важность железнодорожного транспорта, а надпись «И. Сталин» вместо номера подчеркивает его связь с высшим руководством. На заднем плане изображен железнодорожный мост, символ стратегического объекта, требующего охраны, что в сочетании с текстом, включающим цитату Г. К. Жукова и призыв к бдительности, формирует ясное и убедительное послание о необходимости защиты железнодорожной инфраструктуры и единства тыла и фронта.

Аналогичный эффект достигался путем использования метафоры «военной машины», в которой каждый элемент играет свою важную роль. Плакаты, призывающие к самоотверженному труду и мобилизации всех сил, косвенно указывали на то, что железнодорожники являются «винтиками» этой машины, от слаженной работы которых зависит ее эффективность. Такое представление о труде железнодорожников способствовало осознанию значимости их вклада в общее дело и повышению мотивации к выполнению поставленных задач.

Важнейшим направлением пропагандистского воздействия являлось акцентирование внимания на стратегической значимости желез-

нодородного транспорта для обеспечения нужд фронта и тыла [2, с.14]. Плакаты подчеркивали, что от бесперебойной работы железных дорог зависит своевременная доставка войск, техники, боеприпасов, продовольствия и медикаментов, что, в свою очередь, влияет на ход военных действий и судьбу страны. Они показывали стратегическую значимость железнодорожного транспорта, используя яркие визуальные образы. Плакат В. В. Любимова «Железнодорожники! Пропускайте без задержки на фронт воинские поезда» [8] являлся ярким примером такого подхода. Лаконичный и четкий призыв «Пропускайте без задержки» адресовался непосредственно к железнодорожникам, подчеркивая их личную ответственность за своевременное выполнение поставленной задачи. Визуальный образ бронепоезда, мчащегося по железнодорожному мосту, символизировал скорость, мощь и неотвратимость движения к победе. Этот образ создавал ощущение срочности и важности выполняемой работы, мотивируя железнодорожников к преодолению трудностей и обеспечению бесперебойного движения поездов. Другие плакаты, такие как «Железнодорожник, срочной доставкой грузов бей врага!» [5], напрямую связывали скорость доставки грузов с победой над врагом, создавая ощущение прямой причастности к боевым действиям.

В условиях военного времени от железнодорожников требовалась максимальная отдача сил и самоотверженный труд. Плакаты призывали к мобилизации всех ресурсов, преодолению трудностей и выполнению поставленных задач любой ценой.

Плакат В. В. Завьялова «Железнодорожник! Работай по-военному, обеспечь перевозками нужды фронта и тыла!» [4] являлся ярким примером использования милитаристской риторики для мобилизации тружеников тыла. Призыв «Работай по-военному» означал повышенную ответственность, готовность к сверхурочной работе, преодоление трудностей и лишений, строгую дисциплину и выполнение приказов. Этот призыв апеллировал к чувству долга и патриотизма, мотивируя железнодорожников к самоотверженному труду во имя победы. Этот плакат, с его лаконичным и энергичным призывом, подчеркивал необходимость перестройки всей работы железнодорожного транспорта на военный лад. Акцент делался на обеспечении «перевозками нужды фронта и тыла», что подчеркивало двойную ответственность железнодорожников.

В условиях военного времени железнодорожный транспорт являлся стратегически важным объектом, подверженным риску диверсий и атак со стороны врага. Плакаты призывали железнодорожников к бдительности и ответственности за сохранность железнодорожной инфраструктуры, подчеркивая, что «Тыл – тоже фронт!». Плакат Ш.

Мирозяна «Чтоб враги не подползли неожиданно, патриоты, встаньте на посты! Пусть под вашей бдительной охраной будут все дороги и мосты» [9] прямо призывал к охране железнодорожных объектов, создавая образ бдительного стража, охраняющего важные объекты от вражеских диверсий. Плакат акцентировал внимание на «дорогах и мостах», как на ключевых элементах инфраструктуры, требующих особой защиты. Призыв «Встаньте на посты!» адресовался непосредственно к железнодорожникам, призывая их к охране железнодорожных объектов от диверсий и подрывной деятельности врага. Визуальный образ настороженного часового, охраняющего мост, символизировал необходимость постоянной бдительности и готовности к отражению вражеских атак.

Помимо мобилизации на выполнение конкретных задач, плакаты играли важную роль в поддержании морального духа железнодорожников, формировании у них чувства гордости за свой труд и уверенности в победе. Плакаты прославляли не только героев труда, но и саму профессию железнодорожника, а также технику, используемую в работе.

Плакат В. Соколова «Слава железнодорожникам – героям социалистического труда» [10] являлся ярким примером такого подхода. Данная работа подчеркивает значимость вклада работников транспорта в общее дело борьбы с врагом, признавал их заслуги перед Родиной. Плакат помещает в центр внимания машиниста – Героя Социалистического Труда, облаченного в светлую форму, символизирующую его заслуги и признание, выходящего из остановившегося паровоза, знаменующего окончание трудного пути; его встречают железнодорожники с цветами, выражающие уважение и восхищение, а на заднем плане простирается голубое небо, символ мира и свободы, и развеваются красные знамена, символизирующие победу и коммунистическую идеологию. Все это, вкуче с торжественным заголовком и стихами, воспевающими героический труд машиниста, создает эмоциональное воздействие, вызывая чувство гордости за советский народ, героев труда и одержанную победу.

Тему героизма и прославления труда железнодорожников показана также в работе В. Б. Корецкого «Железнодорожники, выполняйте слово, данное товарищу Сталину!» [6]. Плакат создает яркую картину единения и героизма. В центре внимания – улыбающийся железнодорожник и храбрый офицер, крепко пожимающие друг другу руки, что символизирует нерушимую дружбу, неразрывное единство фронта и тыла и общую, долгожданную победу над врагом. На их груди гордо сияют заслуженные награды – медали, ордена и Звезда Героя, являющиеся символами заслуженного признания, отважного героизма и самоотверженного труда, отданного на благо Родины.

На среднем плане образ паровоза с вагонами, особенно выделенных красным цветом, символизирует стратегическую роль железнодорожного транспорта в обеспечении экономики и, в первую очередь, военных нужд страны. Красный цвет вагонов акцентирует важность перевозимых грузов и энергичное движение к победе. Визуальная риторика плаката, создающая атмосферу дружбы и оптимизма через изображение улыбающихся лиц, подкрепляется прямым призывом к действию, мобилизуя к самоотверженному труду и выполнению обязательств, связанных с именем политического лидера. Использование символов и цветовой гаммы в совокупности направлено на формирование чувства гордости, оптимизма и готовности к трудовым свершениям.

Немаловажную роль в мобилизации железнодорожников играло создание отрицательного образа врага. Плакаты изображали немецких оккупантов как жестоких и бесчеловечных захватчиков, стремящихся уничтожить советский народ и разрушить страну. Ярким примером данного направления являются плакат А. Н. Коробкова «Железнодорожники, рабочие, колхозники! Охраняйте советский транспорт, оберегайте его от шпионов и диверсантов!» [7]. На переднем плане изображена мощная красная рука, символизирующая силу советского народа и его решимость в борьбе с врагом. Эта рука крепко сжимает руку диверсанта – белую, костлявую руку с повязкой со свастикой, которая олицетворяет истощение, злобу и фашизм. Диверсант пытается сломать рельс ломом, орудием диверсии, символизирующим разрушение советской транспортной системы. Черный фон создает атмосферу опасности и тревоги, усиливая воздействие красного цвета, доминирующего в композиции и символизирующего энергию, борьбу и кровь, пролитую за Родину. Белый цвет, в свою очередь, символизирует врага, смерть и разрушение, а серый и черный – мрачную атмосферу, подчеркивающую опасность.

Плакат Г. С. Замского «Железнодорожник, срочной доставкой грузов бей врага!» [5] призывал к уничтожению врага путем обеспечения своевременной доставки грузов на фронт. Плакат, выдержанный в строгой черно-белой гамме, призванной создать атмосферу мобилизации и подчеркнуть серьезность военной ситуации, умело использует акценты красного цвета, символизирующего не только силу и энергию, но и кровь, пролитую в борьбе за Родину. Композиция плаката отличается динамизмом, передавая ощущение движения, наступления и неудержимой энергии советских войск. В верхнем левом углу изображения находится железнодорожник, символизирующий организацию и руководство, его указывающая рука направляет усилия на борьбу с врагом.

Этот образ олицетворяет четкое направление, управление и призыв к немедленному действию. В центре плаката размещена советская военная техника, включая танки, бомбы и артиллерию, которая символизирует военную мощь СССР, направленную на полное истребление врага. Красный цвет военной техники подчеркивает ее силу, энергию и неотвратимость победы. В нижнем правом углу изображен вражеский танк с клешнями, представляющий собой символ агрессии, жестокости и бесчеловечности противника. Черный цвет танка ассоциируется со злом, смертью и разрушением, а черная свастика на белой крыше ясно указывает на фашистскую, нацистскую идеологию. Красные клешни, обгаженные кровью, акцентируют внимание на жестокости и кровожадности врага, в то время как трещины и пробоины на танке символизируют силу советского оружия и неминуемое поражение агрессора. Призыв «Железнодорожник, срочной доставкой грузов бей врага!», выполненный шрифтом разного размера и цвета для подчеркивания ключевых слов, мобилизует на самоотверженный труд и обеспечение фронта всем необходимым, выражая непоколебимую решимость к борьбе до полной и окончательной победы, вселяя чувство патриотизма и уверенности в грядущем триумфе советского народа.

Заключение

Проведенный анализ плакатов, посвященных труженикам железнодорожного транспорта в годы Великой Отечественной войны, позволяет сделать вывод о том, что они являлись не только эффективным инструментом мобилизации населения на борьбу с врагом, но и ценным историческим источником, отражающим идеологические установки, политические задачи и социальные настроения эпохи. Плакаты формировали у работников транспорта чувство причастности к общему делу, призывали к самоотверженному труду, бдительности и ответственности, поддерживали высокий моральный дух и вселяли военного времени.

Анализ визуальных образов и текстовых сообщений, используемых в плакатах, позволяет выявить ключевые темы и символы, формировавшие сознание и поведение железнодорожников в годы войны. Образ железнодорожника как героя труда, самоотверженно выполняющего свой долг, призывы к бдительности и охране железнодорожной инфраструктуры, метафора «военной машины», в которой каждый элемент играет свою важную роль, – все эти элементы пропагандистского воздействия способствовали мобилизации железнодорожников на обеспечение победы в Великой Отечественной войне.

Список литературы:

- [1] Бабурина Н. И. Россия XX век. История страны в плакате. – М.: Панорама, 1993.– 239 с.
- [2] Горбунов, А. А., Кретов, Б. И. Военно-политическое значение железных дорог в Великой Отечественной войне // Вестник Волгоградского государственного университета. — 2013. — №. 4. — С. 14–19.
- [3] Елин В. М. «Железнодорожный транспорт - родной брат Красной Армии. Охраняйте советский транспорт, берегите его» // Национальная электронная библиотека. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876111/ (дата обращения: 1.04.2025).
- [4] Завьялов В. В. «Железнодорожник! Работай по-военному, обеспечь перевозками нужды фронта и тыла!» // Президентская библиотека имени Б. Н. Ельцина. URL: <https://www.prlib.ru/item/332319> (дата обращения: 1.04.2025).
- [5] Замский Г. С. ««Железнодорожник, срочной доставкой грузов бей врага!» // Национальная электронная библиотека. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876361/ (дата обращения: 1.04.2025).
- [6] Корецкий В. Б. «Железнодорожники, выполняйте слово, данное товарищу Сталину!» // Национальная электронная библиотека. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876302/ (дата обращения: 1.04.2025).
- [7] Коробков А. Н. «Железнодорожники, рабочие, колхозники! Охраняйте советский транспорт, оберегайте его от шпионов и диверсантов» // Национальная электронная библиотека. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876140/ (дата обращения: 1.04.2025).
- [8] Любимов В. В. «Железнодорожники! Пропускайте без задержки на фронт воинские поезда!» // Национальная электронная библиотека. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876325/ (дата обращения: 1.04.2025).
- [9] Мирозян Ш. Чтоб враги не подползли неожиданно, патриоты, встаньте на посты! Пусть под вашей бдительной охраной будут все дороги и мосты» // Национальная электронная библиотека. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007967076/ (дата обращения: 1.04.2025).
- [10] Соколов В. «Слава железнодорожникам – героям социалистического труда» // Экспонат онлайн. URL: <https://exponat-online.ru/exhibit/1203744/> (дата обращения: 1.04.2025).
- [11] Шпешилова А. Ю. Культурологическое осмысление жанров советских плакатов времен Отечественной войны // Омский научный вестник. — 2006. — №. 9 (47). — С. 326–331.
- [12] Федосов Е. А., Конев К. А. Советский плакат времен Великой Отечественной войны: общенациональный и региональный аспекты // Русин. — 2015. — №. 2 (40). — С. 189–209.

References:

- [1] Baburina N. I. *Russia in the 20th Century. The Country's History in a Poster*. Moscow: Panorama, 1993. 239 p.
- [2] Gorbunov A. A., Kretov B. I. *The Military-Political Significance of Railways in the Great Patriotic War* // *Bulletin of Volgograd State University*. — 2013. — No. 4. — P. 14–19.
- [3] Elin V. M. "Railway Transport — the Red Army's Brother. Protect Soviet Transport, Take Care of It" // *National Electronic Library*. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876111/ (accessed on 1 April 2025).
- [4] Zavyalov V. V. "Railwayman! «Work in a military manner, provide transportation for the needs of the front and the rear!» // *B. N. Yeltsin Presidential Library*. URL: <https://www.prlib.ru/item/332319> (date of access: 01.04.2025).
- [5] Zamsky, G. S., «Railwayman, beat the enemy with urgent cargo delivery!» // *National Electronic Library*. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876361/ (date of access: 01.04.2025).
- [6] Koretsky, V. B., «Railwaymen, fulfill your word given to Comrade Stalin!» // *National Electronic Library*. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876302/ (date of access: 01.04.2025).
- [7] Korobkov, A. N. «Railway Workers, Workers, Collective Farmers! Protect Soviet Transport, Defend It from Spies and Saboteurs» // *National Electronic Library*. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876140/ (Accessed: 1 April 2025).
- [8] Lyubimov, V. V. «Railway Workers! Let Military Trains Pass to the Front Without Delay!» // *National Electronic Library*. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008876325/ (Accessed: 1 April 2025).
- [9] Mirozyan, Sh. «So That the Enemy Doesn't Creep Up Unexpected, Patriots, Stand at Your Posts! Let All Roads and Bridges Be Under Your Watchful Guard» // *National Electronic Library*. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007967076/ (date of access: 01.04.2025).
- [10] Sokolov V. «Glory to the railway workers - heroes of socialist labor» // *Exhibit online*. URL: <https://exponat-online.ru/exhibit/1203744/> (date of access: 01.04.2025).
- [11] Speshilova A. Yu. *Cultural understanding of the genres of Soviet posters from the time of the*



Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.
DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-43-47

ХУСАИНОВА Алия Рамилевна,
магистрант,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
e-mail: Alia2001_2011@mail.ru

КИЗИНА Ирина Дмитриевна,
кандидат технических наук, доцент,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
e-mail: kizina@nefteavtomatika.ru

ВАРИАНТ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

Аннотация. Рассматривается вариант прогнозирования показателей качества продукции установки подготовки нефти (УПН) на основе линейного регрессионного анализа. Приведены требования к реализации работы модели прогнозирования в виде диаграммы потока данных при взаимодействии ЦД и АСУ ТП.

Ключевые слова: установка подготовки нефти, цифровой двойник показателей качества, линейный регрессионный анализ, диаграмма потока данных, SCADA-система, усовершенствованные системы управления.

KHUSAINOVA Aliya Ramilevna,
Master's Student,
Ufa State Petroleum Technological University

KIZINA Irina Dmitrievna,
PhD in Engineering, Associate Professor,
Ufa State Petroleum Technological University

OPTION OF DIGITAL TWIN OF PRODUCT QUALITY INDICATORS OF OIL PROCESSING UNIT

Annotation. A variant of forecasting the product quality indicators of an oil treatment plant based on linear regression analysis is being considered. The requirements for the implementation of the forecasting model in the form of a data flow diagram in the interaction of the data center and the automated process control system are given.

Key words: oil treatment plant, digital twin of quality indicators, linear regression analysis, data flow diagram, SCADA system, advanced control systems.

На сегодняшний день при оценке качества выпускаемой продукции УПН применяются лабораторные методы выявления показателей их качества. Однако такой способ определения состояния выходной продукции не позволяет в оперативном режиме повлиять на устранение потенциально возможных негативных случаев, оказывающих влияние на показатели качества. В силу этого необходимы решения, способные в оперативном режиме получить необходимые данные по показателям качества [1, с. 12].

Существует разнообразное количество решений, способных выполнять обработку данных и определять прогнозные значения технологических параметров объектов нефтегазовой отрасли. Они основаны на применении пакетов моделирования, программных средств, интегрированных с автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Одним из методов прогнозирования решений является цифровой двойник, который представляет информационную модель объекта (процесса), с инструментами моделирования и обработки информации.

Предложен вариант решения по визуализации результатов расчетов цифрового двойника (ЦД) процесса подготовки нефти в SCADA-системе. Применена Master SCADA, способная реализовывать расчетные операции, в т. ч. на основе линейного регрессионного анализа.

В работах специалистов АСУ ТП, в том числе д.т.н., профессора А.П. Веревкина [1, с.13] и к.т.н. Т.М. Муртазина [2, с. 16] подтверждается, что ситуационное управление объектом с нелинейными процессами по показателям качества обеспечивается путём реализации формальных и эвристических моделей, в том числе построенных на основе линейного регрессионного анализа.

Интеграция ЦД и SCADA-системы многовариантно и зависит от того, каким образом осуществляются расчётные операции моделей ЦД. Существует множество решений и разрабатываются новые по реализации в АСУ ТП, что говорит о развитости направления усовершенствованных систем управления технологическим процессом [6, с. 16].

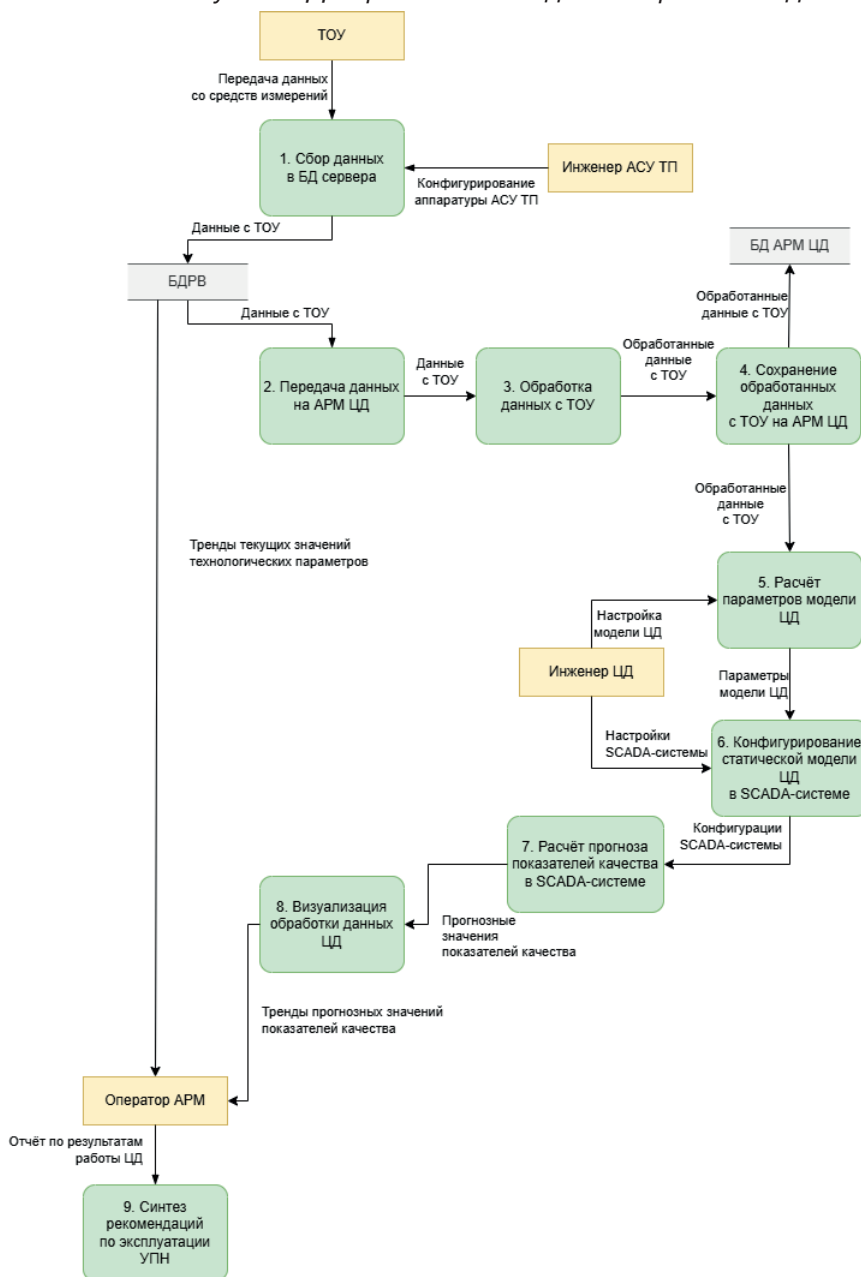
Интеграция цифрового двойника с действующей АСУ ТП является важным этапом развития для предприятий, подразумевающим постепенный переход к усовершенствованным системам управления [3, с. 12 – 13; 4, с. 38].

На рисунке 1 «*Диаграмма потока данных при взаимодействии ЦД и АСУ ТП*» приведен процесс передачи информации от технологического объекта управления (в дальнейшем, именуемый «ТОУ») к оператору АРМ через цифровой двойник. Зеленым цветом на диаграмме выделены основные действия на пути передачи данных,

желтым цветом выделен персонал и ТОУ, серым цветом выделены базы данных, позволяющие ЦД выполнять свою работу.

Измеренные значения основных показателей качества выпускаемой продукции сначала собираются и передаются от ТОУ, затем обрабатываются и сохраняются на разных аппаратных средствах. При поступлении на АРМ ЦД необходимо выполнить расчёт и передать обработанные данные для конфигурирования статической модели в действующей АСУ ТП. В соответствии с установленными требованиями необходимо, чтобы основные расчётные операции по выявлению параметров ЦД были выполнены отдельным программным обеспечением на базе автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера ЦД. Конечная цель - синтез рекомендаций по эксплуатации УПН происходит на АРМ оператора – осуществляется за рамками работ ЦД.

Рисунок 1. Диаграмма потока данных при взаимодействии ЦД и АСУ ТП.



Исходные данные играют важную роль в процессах моделирования. Выборка должна быть качественной, точно описывать процесс, периодически обновляться для того, чтобы предотвратить нарастание ошибки [7, с. 38].

Построение модели ЦД выполняется на основе подготовленных параметров процесса подготовки нефти, показанных в таблице 1.

Обводненность, плотность, температура нефти и расход подаваемого деэмульгатора выбраны для моделирования в силу своей значимости для высокоэффективного протекания производственного процесса подготовки нефти.

Обводненность влияет на коррозию оборудования, низкую эффективность протекания процесса сепарации газа и твердых частиц, снижение стоимости выходной продукции.

Плотность является основным физико-химическим классификатором, параметром стоимости и качества нефти.

Температура подогрева оказывает влияние на вязкость и плотность нефти, разрушение стойких эмульсий.

Расход подаваемого деэмульгатора отвечает за рентабельность и качество протекаемого производственного процесса подготовки нефти.

Таблица 1. Исходные данные с УПН за 01.04.2024-03.04.2024 гг.

Временной шаг, ДД.ММ.ГГГГ ЧЧ:ММ:СС	Обводненность нефтяной эмульсии, поступающей на УПН, %	Температура нефтяной эмульсии, °С	Расход подаваемого на УПН деэмульгатора, г/т нефти	Обводненность нефти на выходе из установки, %	Лабораторные данные по плотности нефти, г/см3
01.04.2024 12:00:00	94,82	64,17	19,95	0,134	0,901
01.04.2024 12:30:00	93,95	64,36	20,03	0,122	0,902
01.04.2024 13:00:00	94,61	62,39	20,05	0,122	0,914
01.04.2024 13:30:00	94,93	62,98	20,09	0,134	0,901
01.04.2024 14:00:00	93,43	62,48	20,13	0,149	0,918
...
03.04.2024 13:00:00	93,71	63,05	19,95	0,133	0,901

Для построения модели цифрового двойника на основе метода регрессионного анализа предварительно был проведен корреляционный анализ исходных данных. Полученные значения были проверены с помощью шкалы Чеддока - параметр ρ (плотность нефти) связан с параметрами $n_{вх}$ (обводненность нефти на входе), T (температура), F (расход подаваемого деэмульгатора). Вычисленные коэффициенты корреляции колеблются от 0,127 до 0,228, что говорит о наличии связи между рассматриваемыми парами параметров.

Основная формула в регрессионном анализе

$$y(X_i, t) = \sum_{i=1}^n K X_i + K_0 + e_i \quad (1.1)$$

где X_i – величина входного сигнала в итерации

i ;

t – время выполнения итерации i ;

K_0 – член свободного коэффициента;

e_i – ошибка наблюдений;

K – коэффициент полиномов.

Стоит учитывать, что в рассматриваемом варианте будет три коэффициента связи K_1, K_2, K_3 , значения которых показывают влияние каждой независимой переменной на целевую переменную $y(X_i, t)$. K_0 отражает начальный уровень зави-

симой переменной при нулевых значениях всех независимых переменных.

Для вычисления коэффициентов используется метод наименьших квадратов:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - (k_1 x_{1,i} + k_2 x_{2,i} + k_3 x_{3,i} + k_0))^2 \quad (1.2)$$

Составляется и решается система уравнений, откуда находят искомые значения K_1, K_2, K_3 :

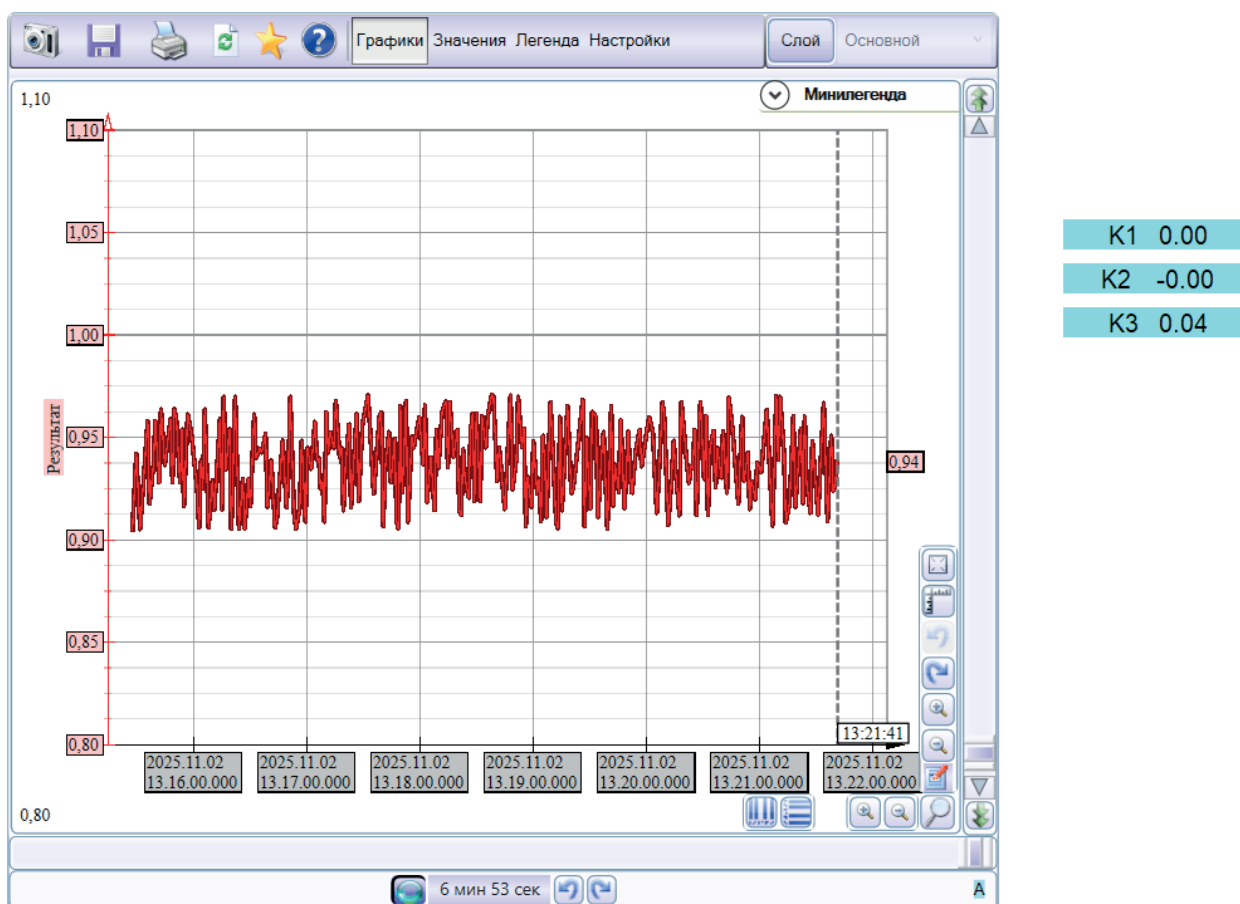
$$\begin{cases} \sum x_{1,i}y_i = \sum x_{1,i}^2 + k_2 \sum x_{1,i}x_{2,i} + k_3 \sum x_{1,i}x_{3,i} + k_0 \sum x_{1,i} \\ \sum x_{2,i}y_i = k_1 \sum x_{1,i}x_{2,i} + \sum x_{2,i}^2 + k_3 \sum x_{2,i}x_{3,i} + k_0 \sum x_{2,i} \\ \sum x_{3,i}y_i = k_1 \sum x_{1,i}x_{3,i} + k_2 \sum x_{2,i}x_{3,i} + \sum x_{3,i}^2 + k_0 \sum x_{3,i} \\ \sum y_i = k_1 \sum x_{1,i} + k_2 \sum x_{2,i} + k_3 \sum x_{3,i} + nk_0 \end{cases} \quad (1.3)$$

Для вычисления коэффициентов корреляции и уравнения регрессии использовалась программа Approx.exe, автором которой является Киришин Олег Валерьевич, к.т.н.

Пример тренда прогнозного значения плотности на выходе из установки изображены на рисунке 2. На тренде по оси X выводятся значения даты и времени выполнения замера параметра, по оси Y выводятся значения прогноза показателя качества нефти на выходе из установки.

Вычисленные значения коэффициентов регрессионного уравнения вводятся в SCADA-систему для визуализации тренда прогнозного значения плотности нефти.

Рисунок 2. Пример тренда прогнозного значения плотности нефти.



Результаты моделирования являются информационной основой для выбора управленческих решений с целью минимизации негативных последствий лицом, принимающим решения.

Выводы и рекомендации

1. Апробирована работа цифрового двойника показателей качества установки подготовки нефти с использованием реальных данных с установки подготовки нефти. В цифровом двойнике достигнута синергия моделирования, временных рядов, диаграммы потока данных при взаимодействии ЦД и АСУ ТП (на примере АСУ ТП с использованием Master-SCADA).

2. Обработка данных выполнена с применением линейного регрессионного анализа.

Выходные значения, полученные в результате моделирования переданы в SCADA-систему для визуализации и принятия управленческих решений обученным персоналом в основной АСУ ТП (за пределами работы цифрового двойника).

3. Результаты показывают, что применение регрессионного анализа актуально для наращивания функций действующих систем за счет дополнительного модуля [5, с. 20-21]. Рекомендуется дальнейшее углубленное изучение влияния факторов внешней среды на моделируемые процессы и регулярное обновление обучающих выборок для поддержания адекватности и точности цифровой копии объекта исследования.

Список литературы:

[1] Веревкин А.П. Оперативное управление процессом производства полиэтилена по показателю качества (индексу расплава) / А.П. Веревкин, Д.В. Калашник, М.Х. Хуснияров // Территория Нефтегаз. – М.: Камелот Пабблишинг, 2013. – № 5. – С. 12-16.

[2] Веревкин А.П. Адаптация моделей для оперативного управления технологическими процессами по технико-экономическим показателям / А.П. Веревкин, Т.М. Муртазин // Территория Нефтегаз. – М.: Камелот Пабблишинг, 2016. – № 11. – С. 16-21.

[3] Веревкин А.П. Моделирование производственных процессов на основе когнитивной информации и временных рядов / А.П. Веревкин, Т.М. Муртазин // Системная инженерия и информационные технологии. – Уфа: УУНиТ, 2022. – Том 4, № 1 (8). – С. 12-19.

[4] Веревкин А.П. Эмпирические модели для автоматизированных систем управления технологическими процессами: кластеризация и верификация данных, обеспечение робастности моделей / А.П. Веревкин, Т.М. Муртазин // Автоматизация и информатизация ТЭК. – М.: РГУ им. Губкина, 2025. – № 8 (625). – С.38-46.

[5] Веревкин А.П. Предиктивная аналитика: курс лекций / А.П. Веревкин. – Уфа, УГНТУ, 2021. – 86 с.

[6] Кизина И.Д. Усовершенствованное управление технологическими процессами нефтедобычи / И.Д. Кизина, Т.М. Муртазин // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2025. – № 4 (621). – С. 15-19.

[7] Пастухов, С.И. Управление данными для моделирования оценок волатильности / С.И. Пастухов // Финансовые рынки и банки. – М.: Русайнс, 2023. – № 6. – С.38-40.

References:

[1] Verevkin A.P. Operational management of the polyethylene production process based on quality indicators (melt index) / A.P. Verevkin, D.V. Kalashnik, M.Kh. Khusniyarov // Territory of Oil and Gas. - M.: Kamelot Publishing, 2013. - No. 5. - Pp. 12-16.

[2] Verevkin A.P. Adaptation of models for operational management of technological processes based on technical and economic indicators / A.P. Verevkin, T.M. Murtazin // Territory of Oil and Gas. - M.: Kamelot Publishing, 2016. - No. 11. - Pp. 16-21.


[3] Verevkin A.P. Modeling of production processes based on cognitive information and time series / A.P. Verevkin, T.M. Murtazin // Systems Engineering and Information Technology. - Ufa: UUNiT, 2022. - Vol. 4, No. 1 (8). - P. 12-19.

[4] Verevkin A.P. Empirical Models for Automated Process Control Systems: Data Clustering and Verification, Ensuring Model Robustness / A.P. Verevkin, T.M. Murtazin // Automation and Informatization of the Fuel and Energy Complex. - Moscow: Gubkin Russian State University, 2025. - No. 8 (625). - P. 38-46.

[5] Verevkin A.P. Predictive Analytics: Lecture Course / A.P. Verevkin. - Ufa, USPTU, 2021. - 86 p.

[6] Kizina I.D. Improved Control of Oil Production Technological Processes / I.D. Kizina, T.M. Murtazin // Automation and informatization of the fuel and energy complex. - 2025. - No. 4 (621). - P. 15-19.

[7] Pastukhov, S.I. Data management for modeling volatility estimates / S.I. Pastukhov // Financial markets and banks. - M.: Rusains, 2023. - No. 6. - P. 38-40.



ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ»
издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-48-51

СМИРНОВ Владимир Алексеевич,

аспирант,

Санкт-Петербургский горный университет

императрицы Екатерины II,

e-mail: vovsm1999@gmail.com

САНДОВ Андрей Михайлович,

студент,

Санкт-Петербургский горный университет

императрицы Екатерины II,

e-mail: SandovAndrey@yandex.ru

НАДЁЖНОСТЬ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Аннотация. Освоение арктических регионов предъявляет повышенные требования к надежности оборудования в условиях критически низких температур, достигающих -60°C и ниже. В таких экстремальных климатических условиях стандартные ограничения серийной микроэлектроники, рассчитанной на эксплуатацию до -40°C , создают значительные риски технологических сбоев. Статья посвящена проблеме обеспечения надёжной работы электронных измерительных устройств в условиях экстремально низких температур (до -60°C), характерных для Антарктики. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности буровых работ и буровых установок в частности, в полярных регионах, где отказы оборудования могут приводить к значительным временным и финансовым потерям. В работе проведён целенаправленный эксперимент с микроконтроллерами PIC16F18855 и полупроводниковыми датчиками температуры в холодильной камере, моделирующей антарктические условия. Особое внимание уделено изучению влияния двух факторов: предварительного охлаждения устройств до экстремально низких температур и наличия влагозащитного полимерного покрытия – на общую работоспособность и стабильность измерений. Результаты эксперимента продемонстрировали, что исследуемые электронные устройства сохраняют базовую функциональность даже при температурах ниже заявленного производителем предела (-40°C). На основании полученных данных сформулированы выводы о важности дальнейшего изучения долговременной стабильности (долговечности) электронных компонентов при эксплуатации в экстремальных низкотемпературных условиях. Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для разработки и эксплуатации электронного оборудования в экстремальных климатических условиях. Исследование подчёркивает необходимость дальнейших работ по изучению долговременной стабильности электронных компонентов при эксплуатации в условиях низких температур.

Ключевые слова: низкотемпературные условия, измерительные системы, датчики температуры, Антарктида, надёжность, микроконтроллер.

SMIRNOV Vladimir Alekseevich

postgraduate student

St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

SANDOV Andrey Mikhailovich

student

St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

RELIABILITY OF MICROELECTRONIC MEASUREMENT SYSTEMS IN EXTREMELY LOW TEMPERATURE CONDITIONS

Annotation. The development of the Arctic regions places increased demands on the reliability of

equipment in conditions of critically low temperatures reaching -60°C and below. In such extreme climatic conditions, the standard limitations of serial microelectronics designed for operation up to -40°C pose significant risks of technological failures. The article is devoted to the problem of ensuring reliable operation of electronic measuring devices in conditions of extremely low temperatures (up to -60°C), typical for the Antarctic. The relevance of the study is due to the need to improve the efficiency of drilling operations and drilling rigs, in particular, in the polar regions, where equipment failures can lead to significant temporary and financial losses. A targeted experiment with PIC16F18855 microcontrollers and semiconductor temperature sensors in a refrigerator simulating Antarctic conditions was carried out. Special attention is paid to the study of the influence of two factors: pre-cooling of devices to extremely low temperatures and the presence of a moisture-proof polymer coating on the overall performance and stability of measurements. The experimental results demonstrated that the studied electronic devices retain their basic functionality even at temperatures below the manufacturer's stated limit (-40°C). Based on the data obtained, conclusions are formulated about the importance of further studying the long-term stability (durability) of electronic components during operation in extreme low-temperature conditions. The practical significance of the work lies in the possibility of using the results obtained for the development and operation of electronic equipment in extreme climatic conditions. The study highlights the need for further work to study the long-term stability of electronic components during operation at low temperatures.

Key words: low-temperature conditions, measurement systems, temperature sensors, Antarctica, reliability, microcontroller.

Введение

В условиях интенсивного освоения полярных регионов возрастает потребность в обеспечении надежного функционирования высокотехнологичного оборудования в условиях экстремально низких температур, достигающих до -60°C и ниже [1]. Одним из ключевых направлений является бурение скважин в приполярных зонах. Точность и надежность измерительных систем в этих условиях прямо влияют на экономическую эффективность проектов и безопасность персонала.

Низкие температуры оказывают существенное влияние на физические параметры полупроводниковых компонентов, включая подвижность носителей заряда, пороговое напряжение и токи утечки, что может приводить к систематическим погрешностям в измерениях. В условиях буровых работ, где точность измерения температуры, давления и позиционирования критически важна для качественного вскрытия пласта и обеспечения безопасности ствола скважины, такие погрешности являются недопустимыми [2].

Цель данной работы заключается в проведении экспериментальной оценки работоспособности серийных микроконтроллеров и датчиков температуры в условиях приближенных к антарктическим.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Провести серию экспериментов с микроконтроллерами семейства PIC16 в условиях, приближенных к антарктическим (до -60°C), что значительно превышает рабочую температуру микроконтроллера. Также оценить запас прочности у серийных компонентов и определить их устойчивости к низким температурам.

2. Исследовать влияние влагозащитного пленочного покрытия на стабильность работы, включая предотвращение конденсации влаги на элементах. Также провести исследование эффективности защиты от образования конденсата,

что является критическим фактором для обеспечения долговечности оборудования при резких изменениях температуры и повышения общей надежности системы, а также снижения вероятности возникновения коротких замыканий и коррозии проводящих элементов [3;4]

Научная новизна исследования заключается в получении экспериментальных данных о работоспособности серийных микроконтроллеров и датчиков температуры при температуре ниже официально заявленного производителем предела. Полученные результаты расширяют представление о границах применимости стандартной элементной базы в условиях арктических регионов и могут быть использованы для оптимизации проектирования и эксплуатации оборудования в экстремальных.

Материалы и методы

В рамках экспериментов был проведен анализ четырех микроконтроллеров PIC16F18855 производства компании Microchip Technology. На микроконтроллере расположена цепь полупроводниковых диодов, функционирующая по принципу зависимости прямого падения напряжения от температуры, и выполняющая функцию температурного сенсора. Цепь диодов подключается в прямом смещении, и через нее протекает стабильный ток. Падение напряжения на данном участке измеряется с помощью АЦП микроконтроллера. [5]. Выбор данных компонентов обусловлен их широкой распространенностью в промышленных приложениях, сочетанием высокой функциональности и энергоэффективности, а также необходимостью тестирования их работоспособности за пределами заявленных температурных диапазонов [6]. Данные с микроконтроллера передавались на компьютер посредством интерфейса UART и выводились на монитор компьютера в числовом значении в режиме реального времени.

Серия экспериментов проводилась в моро-

зильной камере при температуре -60°C и включала два этапа. На первом этапе микроконтроллер подвергался тестированию в стандартных условиях для оценки его работоспособности при экстремально низких температурах, включая стабильность функционирования процессора и датчиков. На втором этапе проверялась работа охлажденного оборудования с учетом возможного влияния конденсата. Один из микроконтроллеров был дополнительно защищен влагозащитной пленкой для оценки эффективности данной меры в условиях повышенной влажности.

Основной целью эксперимента являлась демонстрация эффективности влагоустойчивых технологических решений при эксплуатации в условиях экстремально низких температур

Результаты

Исследования подтвердили высокую устойчивость тестируемых микроконтроллеров и датчиков к экстремально низким температурам. В рамках эксперимента были получены следующие результаты:

1. Все четыре микроконтроллера успешно активировались при температуре -60°C как при плавном охлаждении, так и при холодном старте, что свидетельствует о высоком уровне надежности в обоих сценариях.

2. В течение 10 часов непрерывной работы при температуре -60°C ни одно из устройств не продемонстрировало критических сбоев, что подтверждает стабильность функционирования основных компонентов.

3. После проведения пяти циклов охлаждения и нагрева (от -60°C до $+20^{\circ}\text{C}$) не было зафиксировано признаков накопления деградации, что указывает на их способность к многократному функционированию в экстремальных температурных условиях.

Обсуждение

Существующие модели описывают изменение характеристик полупроводниковых устройств при температурах ниже -40°C через зависимость подвижности носителей заряда (μ) от температуры:

$$\mu(T) \sim T^{-\frac{3}{2}} \quad (1)$$

для фононного рассеяния в кремнии, что приводит к росту сопротивления, но сохраняет функциональность до 200K без фазовых переходов. Модель Вейскольда дополняет это прогнозируя

нелинейную зависимость порогового напряжения:

$$V_{th}(T) = V_{th0} + \alpha(T - T_0) \quad (2)$$

где $\alpha > 0$, объясняя стабильность PIC16F18855 при -60°C за счет запаса прочности по напряжению.

Классическая модель Аррениуса описывает интенсивность отказов как экспоненциальную функцию от температуры. При температуре 213K член функции $e^{-E_a/kT}$ становится значительно меньше по сравнению с комнатной температурой, коэффициент снижения скорости деградации достигает 10^6 , что означает о практически полном торможении диффузии примесей и окислении контактов.

Влияние влагозащитного покрытия оказалось минимальным для кратковременных тестов, что согласуется с моделями адсорбции влаги по БЭТ, где при -60°C мономолекулярный слой конденсата не формируется из-за низкой парциальной скорости водяного пара. В реальных антарктических условиях с циклическими перепадами температур риск коррозии контактов возрастает, что делает такие покрытия необходимыми для обеспечения надежности.

Заключение

Серийные микроконтроллеры семейства PIC продемонстрировали высокую устойчивость к экстремально низким температурам. Исследования продемонстрировали возможность функционирования микроконтроллеров при температурах значительно превосходящих диапазон рабочих температур, что подтверждает гипотезу о значительном запасе прочности у исследуемых компонентов.

Различия в работе микроконтроллеров с защитным покрытием и без него оказались незначительными при кратковременном использовании. Данный факт указывает на то, что дополнительные защитные покрытия не являются обязательными для обеспечения стабильности измерений в отсутствие продолжительного воздействия экспериментальных условий на макет. Однако отсутствие защитного слоя может привести к снижению износостойкости датчиков при длительном воздействии неблагоприятных внешних факторов. Для точной оценки целесообразности применения защитных покрытий с целью повышения долговечности и устойчивости датчиков необходимо проведение дополнительных исследований.

Список литературы:

[1] Serbin D. V., & Dmitriev A. N. *Experimental research on the thermal method of drilling by melting the well in ice mass with simultaneous controlled expansion of its diameter.* // *Journal of Mining Institute.* — 2022. — №. 257. — С. 833-842.

[2] Nian-Han Wu, Ming-Zhong Gao, Liang-Yu Zhu, Jia-Nan Li, Dong Fan, Bin You, Wei Luo, Guo-Dong Zhu *Pressure control method and device innovative design for deep oil in-situ exploration and coring* // *Petroleum Science.* — 2023. — №. 20. — С. 1169-1182.

[3] Shishkin E. V., Bolshunov A. V., Timofeev I. P., Avdeev A. M., & Rakitin I. V. *Model of a walking*

sampler for research of the bottom surface in the subglacial lake vostok // *Journal of Mining Institute*. — 2022. — №. 257. — С. 853-864.

[4] Bolshunov A. V., Vasilev D. A., Ignatiev S. A., Dmitriev A. N., & Vasilev N. I Mechanical drilling of glaciers with bottom-hole scavenging with compressed air. // *Led i Sneg*. — 2022. — №. 62(1). — С. 35-46.

[5] Петросянц К.О., Измаил-Заде М.Р., Самбурский Л.М Особенности моделирования ВАХ JFET-транзисторов в диапазоне криогенных температур // *Известия вузов. Электроника*. — 2019. — №. 24. — С. 174–184.

[6] Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Альзаккар А., Низамиев М.Ф., Шумихина О.А., Вяльцев С.С. Прогнозирование и анализ электропотребления и потерь электроэнергии на промышленных объектах. // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. — 2022. — №. 24(6). — С. 3-12.

References:

[1] Serbin D. V., & Dmitriev A. N. Experimental research on the thermal method of drilling by melting the well in ice mass with simultaneous controlled expansion of its diameter. // *Journal of Mining Institute*. - 2022. - No. 257. - pp. 833-842.

[2] Nian-Han Wu, Ming-Zhong Gao, Liang-Yu Zhu, Jia-Nan Li, Dong Fan, Bin You, Wei Luo, Guo-Dong Zhu Pressure control method and device innovative design for deep oil in-situ exploration and coring // *Petroleum Science*. - 2023. - No. 20. - pp. 1169-1182.


[3] Shishkin E. V., Bolshunov A. V., Timofeev I. P., Avdeev A. M., & Rakitin I. V. Model of a walking sampler for research of the bottom surface in the subglacial lake vostok // *Journal of Mining Institute*. - 2022. - No. 257. - pp. 853-864.

[4] Bolshunov A. V., Vasilev D. A., Ignatiev S. A., Dmitriev A. N., & Vasilev N. I Mechanical drilling of glaciers with bottom-hole scavenging with compressed air. // *Led i Snow*. - 2022. - No. 62(1). — P. 35-46.

[5] Petrosyants K.O., Izmail-Zade M.R., Sambursky L.M. Features of modeling the I-V characteristics of JFET transistors in the cryogenic temperature range // *News of higher education institutions. Electronics*. - 2019. - No. 24. - P. 174-184.

[6] Abdullazyanov E.Yu., Gracheva E.I., Alzakkar A., Nizamiyev M.F., Shumikhina O.A., Vyal'tsev S.S. Forecasting and analysis of electricity consumption and losses at industrial facilities. // *News of higher education institutions. Problems of energy*. - 2022. - No. 24(6). - P. 3-12.





ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ» издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.

ВЛАСОВ Николай Евгеньевич,
магистрант,
Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
e-mail: kolawlas@yandex.ru

ЦЕНТРЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КАК ОБЪЕКТ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация. Статья представляет собой комплексный аналитический обзор, посвященный вопросам организации и проведения аудита информационной безопасности (ИБ) центров обработки данных в Российской Федерации. В условиях стремительного роста российского рынка ЦОД и увеличения числа кибератак данная тема приобретает особую актуальность.

Автор последовательно рассматривает ключевые аспекты темы. Статья открывается анализом динамики рынка ЦОД в России, подчёркивая его объём и возрастающую важность как элемента инфраструктуры. Далее приводится классификация ЦОД по различным параметрам: целям использования, назначению, размеру и уровням отказоустойчивости. Значительное внимание уделено детальному анализу актуальных угроз ИБ, включая DDoS-атаки, вредоносное ПО, внутренние угрозы, ошибки конфигурации и физические риски, с приведением статистических данных за 2023-2024 годы.

Ядром работы является систематизация нормативно-правовых требований, предъявляемых к аудиту. Автор детально разбирает роль основных регуляторов: ФСТЭК России, ФСБ России и Роскомнадзора, а также релевантные федеральные законы (№152-ФЗ и №149-ФЗ) и национальные стандарты (ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001). В статье четко регламентируется рекомендуемая периодичность проведения аудитов для различных типов организаций и систем (персональные данные, КИИ, государственные системы) и определяется перечень ключевых объектов проверки: физическая, техническая и организационная безопасность.

Статья имеет практическую ценность и предназначена для широкого круга специалистов: руководителей, сотрудников служб ИБ, аудиторов, операторов ЦОД, а также студентов и исследователей в области информационной безопасности. Материал служит структурированным руководством, позволяющим понять полный цикл требований к аудиту ИБ ЦОД в России и обеспечить соответствие деятельности законодательству.

Ключевые слова: Аудит информационной безопасности, центр обработки данных (ЦОД), ФСТЭК России, Федеральный закон № 152-ФЗ, персональные данные, критическая информационная инфраструктура (КИИ), ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001, DDoS-атаки, нормативно-правовое регулирование, периодичность проверок, средства защиты информации (СЗИ).

VLASOV Nikolay Evgenievich,
Master's student,
National Research University «MIET»

DATA CENTERS AS AN OBJECT OF INFORMATION SECURITY AUDIT

Annotation. The article presents a comprehensive analytical review dedicated to the organization and conduct of information security (IS) audits for data centers in the Russian Federation. In the context of the rapid growth of the Russian data center market and the increasing number of cyberattacks, this topic is gaining particular relevance.

The author sequentially examines key aspects of the subject. The article begins with an analysis of the dynamics of the data center market in Russia, highlighting its volume and growing importance as an infrastructure element. This is followed by a classification of data centers according to various parameters: purpose of use, function, size, and levels of fault tolerance. Significant attention is paid to a detailed analysis of current IS threats, including DDoS attacks, malware, internal threats, configuration errors, and physical risks, supported by statistical data for 2023-2024.

The core of the work is the systematization of regulatory requirements for such audits. The author provides a detailed breakdown of the role of key regulators: the Federal Service for Technical and Export Control (FSTEC) of Russia, the Federal Security Service (FSB) of Russia, and Roskomnadzor, as well as relevant federal laws (No. 152-FZ and No. 149-FZ) and national standards (GOST R ISO/IEC 27001). The

article clearly outlines the recommended frequency of audits for different types of organizations and systems (personal data, critical information infrastructure, state systems) and defines a list of key audit objects: physical, technical, and organizational security.

The article has practical value and is intended for a wide range of specialists: managers, information security personnel, auditors, data center operators, as well as students and researchers in the field of information security. The material serves as a structured guide to understanding the full cycle of requirements for IS audits of data centers in Russia and ensuring compliance with legislation.

Key words: Information security audit, data processing center (DPC), FSTEC of Russia, Federal Law No. 152-FZ, personal data, critical information infrastructure (CII), GOST R ISO/IEC 27001, DDoS attacks, regulatory framework, inspection frequency, information protection tools.

Введение

Центры обработки данных (ЦОД) являются критически важным элементом цифровой инфраструктуры, обеспечивающим хранение и обработку информации. В связи с этим обеспечение информационной безопасности (ИБ) ЦОД становится одной из приоритетных задач для организаций и государства. В России требования к аудиту ИБ ЦОД строго регламентированы законодательством и нормативными документами таких регуляторов, как ФСТЭК России, ФСБ России и Роскомнадзор [1]. Настоящая статья ставит целью не только описание и систематизацию этих требований, но и анализ их практической реализации, выявление возможных проблемных зон и противоречий в регулировании.

Динамика российского рынка ЦОД

Последние годы стали прорывными для российского рынка ЦОД. В 2023-2024 гг. отмечен рекордный ввод новых стойко-мест – более 12 тыс. единиц ежегодно [2]. Общий парк стойко-мест на конец 2024 года оценивается примерно в 82,4 тыс. единиц. Объем рынка за пять лет (2020–2024 гг.) вырос почти втрое – с 53,1 млрд до расчетных 156,5 млрд рублей, со среднегодовым темпом роста около 30% [2]. Параллельно с ростом рынка наблюдается беспрецедентный рост числа и сложности кибератак на объекты информационной инфраструктуры, включая ЦОД. В 2023 году было зафиксировано около 200 тысяч наиболее опасных компьютерных атак, при этом особое внимание злоумышленников было сосредоточено на объектах критической информационной инфраструктуры (КИИ) [3]. Такая динамика однозначно подтверждает высокую актуальность темы защиты информации в ЦОД и необходимость эффективного аудиторского контроля.

Классификация ЦОД

ЦОД можно классифицировать по различным параметрам: цели использования (хостинговые, корпоративные, смешанные), назначению (основные, резервные), размеру (микро, малые, средние, крупные) и уровню отказоустойчивости (Tier I-IV по классификации Uptime Institute) [4; 5; 6]. Эта классификация важна для аудита, так как определяет глубину и фокус проверки. Например, требования к хостинговому ЦОД, обрабатывающему персональные данные множества клиентов, будут строже, чем к внутреннему корпоративно-

му ЦОД малого предприятия. Аудит ЦОД уровня Tier IV должен уделять максимальное внимание резервированию всех систем, в то время как для Tier I этот аспект может быть менее критичным.

Актуальные угрозы ИБ ЦОД

Современные ЦОД сталкиваются с широким спектром угроз: Кибератаки: DDoS-атаки с пиковой мощностью до сотен Гбит/с [7], целевое вредоносное ПО (включая ransomware), эксплуатация уязвимостей в программном обеспечении. Внутренние угрозы: Умышленные или случайные действия инсайдеров. Ошибки конфигурации: Неверные настройки облачных хранилищ, серверов и сетевого оборудования, ведущие к утечкам данных. Физические угрозы: Отказы систем электропитания и охлаждения, несанкционированный физический доступ. Аудит ИБ должен быть сфокусирован на оценке эффективности мер противодействия именно этому спектру угроз.

Законодательные требования, требования регуляторов и национальные стандарты

ФСТЭК России: Ключевой регулятор. Устанавливает требования через приказы № 21 (защита ПДн), № 17 (госинформосистемы), № 235 и № 239 (объекты КИИ) [8; 9; 10; 11]. ФСБ России: Регулирует использование криптографических средств защиты информации (Приказ № 378) [12]. Роскомнадзор: Контролирует соблюдение Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных» [13]. Законы: № 152-ФЗ (ПДн) и № 149-ФЗ (об информации) [13; 14]. Стандарты: ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 (системы менеджмента ИБ) и ГОСТ Р 57580 (для финансового сектора) [15; 16].

Несмотря на детальную проработку, существующая нормативная база имеет ряд особенностей и сложностей для практической реализации:

1. Множественность и потенциальная противоречивость требований. Организация, чей ЦОД одновременно обрабатывает персональные данные и является объектом КИИ, должна одновременно выполнять требования приказов ФСТЭК № 21 и № 235/239, которые могут иметь различия в подходах к классификации угроз, номенклатуре СЗИ или периодичности контроля. Это создает сложности при планировании и проведении комплексного аудита.

2. Многие требования носят формально-предписывающий характер (установи то, примени это), что может приводить к «галочному» подходу к аудиту, когда проверяется лишь наличие доку-

ментов и средств защиты, а не их реальная эффективность в конкретном технологическом контексте ЦОД. Международный стандарт ISO/IEC 27001, положенный в основу ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001, в большей степени ориентирован на оценку и управление рисками, что создает методологический разрыв при попытке его совмещения с предписаниями отраслевых регуляторов.

3. Практические сложности при аудите распределенных и облачных моделей ЦОД. Традиционные нормативные акты зачастую ориентированы на классическую модель физически обособленного ЦОД. С распространением гибридных и облачных инфраструктур, где ресурсы распределены между несколькими площадками или провайдерами, возникает неопределенность в разграничении ответственности и применимости требований. Аудит в таких условиях требует оценки безопасности не только собственной инфраструктуры, но и цепочек поставщиков услуг, что нормативно регламентировано недостаточно четко.

4. Текущие требования и, как следствие, типовые программы аудита сосредоточены преимущественно на контроле состояния защищенности (есть/нет). При этом слабо развиты методики оценки зрелости процессов управления ИБ (например, по моделям типа СММИ), что позволило бы давать более содержательные рекомендации по их развитию, а не только по устранению конкретных нарушений.

Требования к периодичности аудита

Периодичность аудита законодательно дифференцирована: для операторов персональных данных и государственных информационных систем – не реже раза в год; для объектов КИИ – не реже раза в 3 года [13; 17]. Данный подход в целом логичен, однако фиксированные сроки могут не всегда соответствовать реальной динамике изменения рисков. Для быстроразвивающегося ЦОД, активно внедряющего новые услуги или технологии, годовой интервал может быть избыточным, в то время как для стабильной инфраструктуры с высоким уровнем угроз – недостаточным. Более гибкий, риск-ориентированный подход к определению периодичности (с учетом факторов изменений, результатов предыдущих проверок, текущей обстановки) повысил бы эффективность контроля. Ключевые объекты ауди-

та (физическая, техническая и организационная безопасность) охватывают основные аспекты. Однако на практике часто наблюдается дисбаланс: техническому аудиту (сканирование уязвимостей, анализ журналов) уделяется больше внимания, чем глубокой проверке организационных мер (эффективность политик, реальная культура безопасности среди персонала, процедуры реагирования на инциденты). Устранение этого дисбаланса – важная задача для повышения качества аудита.

Заключение

Аудит информационной безопасности ЦОД в России представляет собой сложный, жестко регламентированный процесс, необходимый для обеспечения защиты информации и соблюдения законодательства. Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы и предложения:

1. Существующая нормативная база является всеобъемлющей, но в ряде аспектов излишне формализованной и фрагментированной, что создает практические сложности для организаций со смешанным типом обрабатываемой информации.

2. Внедрение более последовательного риск-ориентированного подхода при согласовании требований разных регуляторов и определении периодичности аудита позволило бы повысить его практическую ценность и адаптивность к меняющимся условиям.

3. Требуется развитие методик аудита, учитывающих современные архитектуры (облачные, гибридные) и направленных на оценку не только состояния, но и зрелости процессов управления ИБ. 4. Для повышения объективности и глубины аудита целесообразно более активное сочетание процедур обязательного контроля с лучшими практиками, заложенными в стандартах семейства ISO/IEC 27000. Таким образом, дальнейшее совершенствование системы аудита ИБ ЦОД должно идти по пути гармонизации нормативных требований, внедрения гибких риск-ориентированных методик и развития компетенций аудиторов для работы со сложными распределенными инфраструктурами. Это будет способствовать не только формальному соответствию, но и реальному повышению устойчивости критически важных объектов информационной инфраструктуры России к современным угрозам.

Список литературы:

- [1] Обзор регуляторных требований к информационной безопасности в РФ (2023) // Информационная безопасность. – 2023. – № 4. – С. 12–18.
- [2] Исследование российского рынка ЦОД 2023-2024 / iKS-Consulting, CNews Analytics. – 2024. – URL: <https://iks-consulting.ru/> (дата обращения: 15.10.2024).
- [3] Обзор киберугроз для объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации за 2023 год / Совет Безопасности Российской Федерации. – 2024. – URL: <https://www.scrf.gov.ru/> (дата обращения: 15.10.2024).
- [4] Петров А. В. Архитектура и классификация современных центров обработки данных. – М.: ИД

«Синергия», 2022. – 245 с.

[5] Смирнов С. И. Основные и резервные ЦОД: принципы построения отказоустойчивых систем // Труды научно-практической конференции «Инфофорум-2023». – М., 2023. – С. 45–52.

[6] Uptime Institute. Data Center Site Infrastructure Tier Standard: Topology. – 2021. – URL: <https://uptimeinstitute.com/tiers> (дата обращения: 15.10.2024).

[7] Анализ DDoS-атак в первом квартале 2024 года / Selectel: [технический отчет]. – 2024. – URL: <https://selectel.ru/blog/> (дата обращения: 15.10.2024).

[8] Приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 (ред. от 11.11.2022) «Об утверждении Составы и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

[9] Приказ ФСТЭК России от 11.02.2013 № 17 (ред. от 23.12.2020) «Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах».

[10] Приказ ФСТЭК России от 25.12.2017 № 235 (ред. от 26.06.2020) «Об утверждении Требований к созданию систем безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и обеспечению их функционирования».

[11] Приказ ФСТЭК России от 22.12.2020 № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

[12] Приказ ФСБ России от 10.07.2014 № 378 (ред. от 15.03.2021) «Об утверждении Составы и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных с использованием средств криптографической защиты информации».

[13] Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «О персональных данных» // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (1 ч.). – Ст. 3451.

[14] Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (1 ч.).

[15] ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2021. Информационная безопасность, кибербезопасность и защита приватности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. – Введ. 2022-07-01. – М.: Стандартинформ, 2021. – 32 с.

[16] ГОСТ Р 57580-2017. Защита информации. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения. – Введ. 2018-07-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 45 с.

[17] Федеральный закон от 30.12.2021 № 266-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О персональных данных» // Собрание законодательства РФ. – 2022. – № 1 (часть I).

References:

[1] Review of regulatory requirements for information security in the Russian Federation (2023) // Information Security. – 2023. – No. 4. – pp. 12–18.

[2] Research of the Russian data center market 2023–2024 / iKS-Consulting, CNews Analytics. – 2024. – URL: <https://iks-consulting.ru/> (date of access: 15 October 2024).

[3] Review of cyber threats to critical information infrastructure facilities of the Russian Federation for 2023 / Security Council of the Russian Federation. – 2024. – URL: <https://www.scrf.gov.ru/> (date of access: 15 October 2024).

[4] Petrov A. V. Architecture and classification of modern data processing centers. – Moscow: ID «Synergy», 2022. – 245 p.

[5] Smirnov, S. I. “Primary and Backup Data Centers: Principles of Building Fault-Tolerant Systems” // Proceedings of the Scientific and Practical Conference “Infoforum-2023”. Moscow, 2023, pp. 45–52.

[6] Uptime Institute. Data Center Site Infrastructure Tier Standard: Topology. 2021: <https://uptimeinstitute.com/tiers> (Accessed: October 15, 2024).

[7] Analysis of DDoS Attacks in the First Quarter of 2024 / Selectel: [technical report]. 2024: <https://selectel.ru/blog/> (Accessed: October 15, 2024).

[8] Order of the FSTEC of Russia dated February 18, 2013 No. 21 (as amended on November 11, 2022) «On Approval of the Composition and Content of Organizational and Technical Measures to Ensure the Security of Personal Data When Processing It in Personal Data Information Systems.»

[9] Order of the FSTEC of Russia dated February 11, 2013 No. 17 (as amended on December 23, 2020) «On Approval of the Requirements for the Protection of Information That Does Not Constitute a State Secret, Contained in State Information Systems.»

[10] Order of the FSTEC of Russia dated December 25, 2017 No. 235 (as amended on June 26, 2020) «On Approval of the Requirements for the Creation of Security Systems for Significant Objects of the Critical

Information Infrastructure of the Russian Federation and Ensuring Their Functioning.» [11] Order of the FSTEC of Russia dated December 22, 2020 No. 239 «On Approval of the Requirements for Ensuring the Security of Significant Objects of the Critical Information Infrastructure of the Russian Federation.»

[12] Order of the FSB of Russia dated July 10, 2014 No. 378 (as amended on March 15, 2021) «On Approval of the Composition and Content of Organizational and Technical Measures to Ensure the Security of Personal Data When Processing Them in Personal Data Information Systems Using Cryptographic Information Protection Tools.»

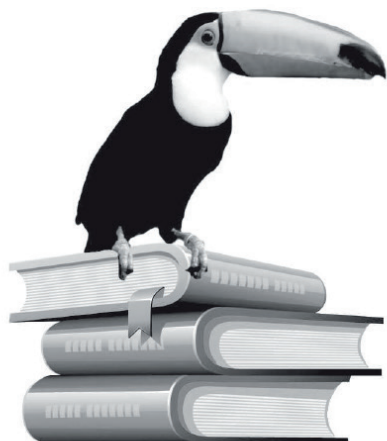
[13] Federal Law of July 27, 2006 No. 152-FZ (as amended on July 14, 2022) «On Personal Data» // Collected Legislation of the Russian Federation. - 2006. - No. 31 (part 1). - Art. 3451.

[14] Federal Law of July 27, 2006 No. 149-FZ (as amended on July 2, 2021) «On Information, Information Technologies, and Information Protection» // Collected Legislation of the Russian Federation. - 2006. - No. 31 (part 1).

[15] GOST R ISO/IEC 27001-2021. Information security, cybersecurity, and privacy protection. Information security management systems. Requirements. – Introduced on July 1, 2022. – Moscow: Standartinform, 2021. – 32 p.

[16] GOST R 57580-2017. Information protection. Ensuring information security of organizations of the banking system of the Russian Federation. General provisions. – Introduced on July 1, 2018. – M.: Standartinform, 2017. – 45 p.

[17] Federal Law of 30.12.2021 No. 266-FZ «On Amendments to the Federal Law «On Personal Data» // Collected Legislation of the Russian Federation. – 2022. – No. 1 (Part I).



ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

ЗЫРЯНОВ Дмитрий Александрович,
студент,
Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения,
e-mail: zyrikdima@gmail.com

АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА СИНТЕТИЧЕСКОМ НАБОРЕ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МАРШРУТА

Аннотация. В статье рассматривается решение задачи выбора наиболее подходящего маршрута движения беспилотных транспортных средств среди нескольких альтернатив. При выборе оцениваются параметры маршрутов (протяженность, средняя скорость трафика, проходимость, погода, количество заправочных станций), а также параметры точки старта (количество заправочных станций, стоимость парковки, погода) для возможности принятия решения о приостановке движения. Для анализа формируется синтетический набор данных с явной корреляцией параметров. Применимость датасета проверяется на линейных моделях с различным количеством входных параметров. Рассматриваются различные архитектуры нейронных сетей: линейные, рекуррентные (RNN), нейронные сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM), трансформеры. Приведен анализ работы моделей. Определяются следующие преимущества и недостатки рассматриваемых архитектур для задачи: LSTM и RNN наименее подвержены переобучению на наборе данных маршрутов; затраты на время обучения у RNN меньше, чем у других рассмотренных моделей; скорость вычисления у LSTM и RNN выше, чем у transformer (при одинаковом количестве параметров); при малом количестве параметров точность модели transformer выше. Сделан вывод о том, что transformer лучше справляется с задачей по выявлению связей между параметрами маршрута для выбора лучшего варианта, однако необходимо следить за переобучением, также благодаря тому, что Transformer требует меньшее количество параметров для стабильной работы, это может компенсировать проигрыш во времени расчета в сравнении с RNN и LSTM.

Ключевые слова: нейронная сеть, трансформер, рекуррентная сеть, LSTM, RNN, беспилотный аппарат, поиск маршрута, управление, данные.

ZYRYANOV Dmitry Alexandrovich,
student,
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ANALYSIS OF THE SUITABILITY OF VARIOUS NEURAL NETWORK ARCHITECTURES ON A SYNTHETIC DATASET FOR THE ROUTE SELECTION TASK

Annotation. The article considers the solution to the problem of choosing the most suitable route for unmanned vehicles among several alternatives. When choosing, the route parameters (length, average traffic speed, passability, weather, number of gas stations) are evaluated, as well as the parameters of the starting point (number of gas stations, parking cost, weather) for the possibility of making a decision to suspend traffic. A synthetic data set with an explicit correlation of parameters is formed for the analysis. The applicability of the dataset is tested on linear models with a different number of input parameters. Various architectures of neural networks are considered: linear, recurrent (RNN), neural networks with long short-term memory (LSTM), transformers. An analysis of the operation of the models is given. The following advantages and disadvantages of the considered architectures for the task are determined: LSTM and RNN are least susceptible to retraining on a set of route data; RNN training time costs are lower than for other models considered; The calculation speed of LSTM and RNN is higher than that of transformer (with the same number of parameters); with a small number of parameters, the accuracy of the transformer model is higher. It is concluded that transformer copes better with the task of identifying relationships between route parameters in order to choose the best option, however, it is necessary to monitor retraining, also due to the fact that Transformer requires fewer parameters for stable operation, this can compensate for the loss in calculation time compared to RNN and LSTM.

Key words: neural network, transformer, recompetitive network, LSTM, RNN, unmanned vehicle, route search, control, data.

Одной из задач беспилотного транспорта является выбор наиболее подходящего маршрута движения среди нескольких альтернатив. Данная задача является общей для различных навигационных систем, систем принятия решения и оптимизации. Различные варианты решения существуют для морских [1], воздушных [2], наземных [3] транспортных систем. Важно отметить, что критерии выбора могут неочевидным образом коррелировать с входными параметрами маршрутов, при этом определение оптимального без уменьшения количества параметров становится неразрешимой задачей [1]. Хорошие результаты в решении задач маршрутизации показывают различные алгоритмы искусственного интеллекта: генетические алгоритмы [4], модели машинного обучения с подкреплением [5], муравьиный алгоритм [2], а также нейронные сети [6]. Поэтому для задачи выбора маршрута предлагается применение нейронных сетей, которые наиболее приспособлены для поиска скрытых связей между данными. Однако важно опреде-

лить архитектуру, наиболее подходящую для данной задачи.

Для анализа моделей сформируем синтетический датасет. Набор данных создадим случайным образом с указанием явной зависимости между параметрами (для проверки работы моделей). Входные данные были выбраны следующим образом:

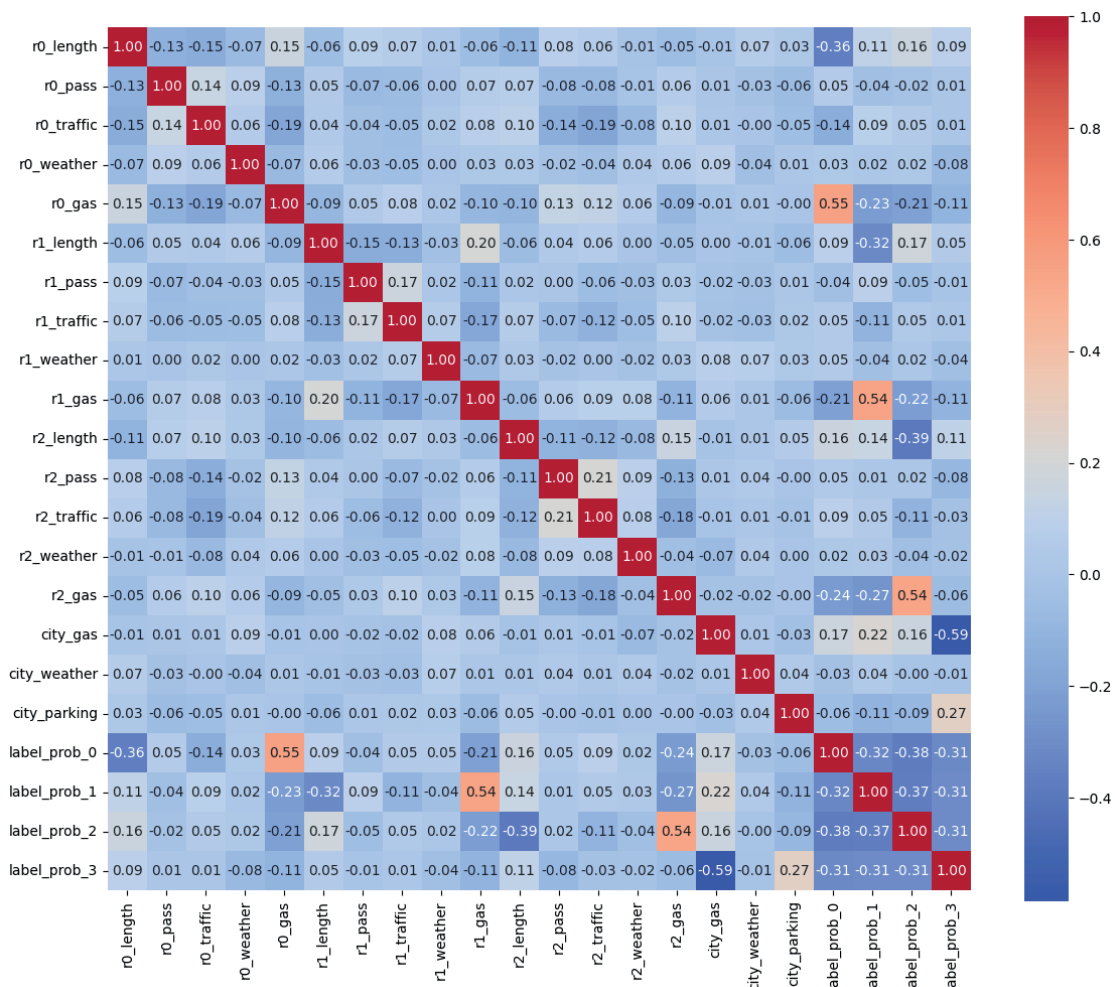
1) Параметры маршрутов (для анализа сформировано по 3 альтернативных маршрута): длина маршрута, проходимость (в виде коэффициента от 0 до 1), средняя скорость трафика, погодные условия, количество заправок станций на маршруте;

2) Параметры города начала пути: количество заправок станций, погода, стоимость стоянки.

Выходные данные - распределение вероятностей выбора одного из маршрутов или города (стоянка без продолжения следования).

Для анализа пригодности была сформирована матрица корреляции (рис. 1).

Рисунок 1. Матрица корреляции между данными. Данная матрица показывает, что между данными существует определенная связь, а значит они могут быть использованы для дальнейшей оценки моделей [7].



Для начала необходимо определить, сможет ли система работать с постоянным количеством входных параметров. Для этого сравним 3 полносвязные модели: с 1 маршрутом, с 2 маршрутами, с 3 маршрутами. При этом выбираются маршруты с наименьшей длиной пути – оставшиеся отсеиваются. Это определяется из требований ко всем навигационным алгоритмам по поиску кратчайших маршрутов.

Модели имеют одинаковую архитектуру: 3 последовательных линейных слоя с батч-нормализацией, dropout и функцией активации LeakyReLU, выходной линейный слой с функцией активации softmax.

Обучение длится 1300 эпох, применяется

оптимайзер Adam и функция ошибки – Cross-Entropy.

Для моделей введены 2 оценки точности:

1) правильность выбора конкретного маршрута или остановки в городе;

2) правильность выбора любого из маршрутов или остановки в городе.

Последняя оценка покажет, будут ли дополнительные маршруты влиять на результаты работы моделей.

Все данные делятся на 2 выборки:

1) тренировочная – 80% данных;

2) тестовая – 20% данных.

Оценка производится на тестовой выборке – на данных, которые модели никогда не видели.

Рисунок 2. График обучения модели с 1 входным маршрутом.

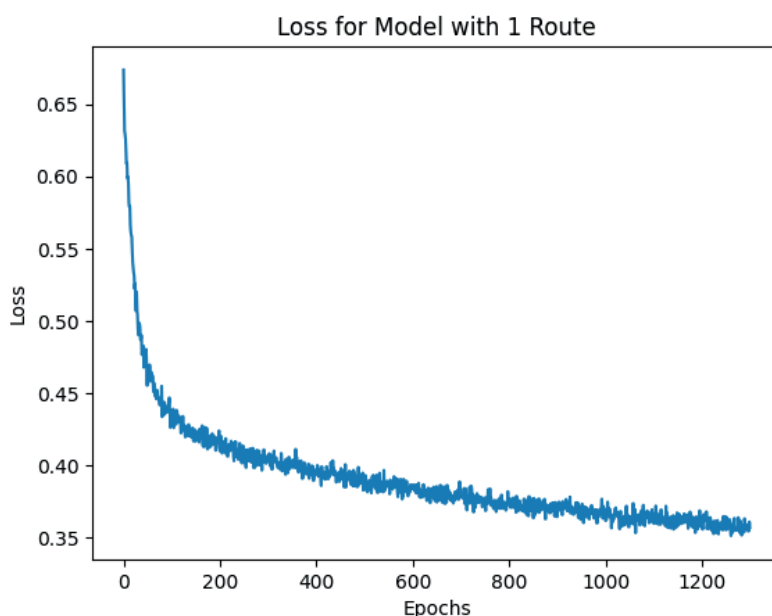


Рисунок 3. График обучения модели с 2 входными маршрутами.

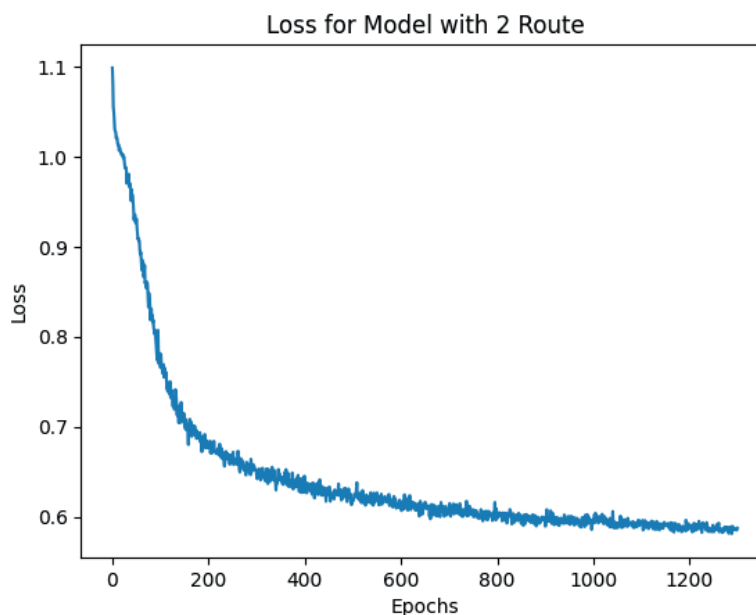
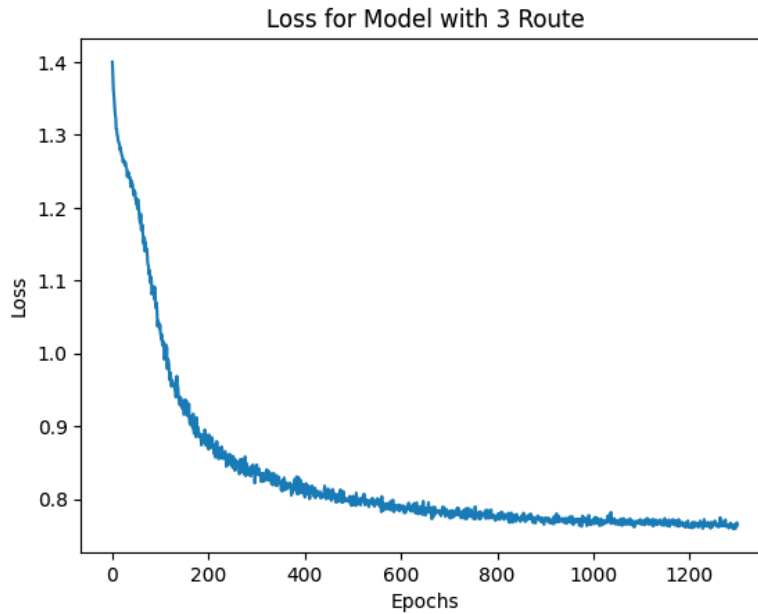


Рисунок 4. График обучения модели с 3 входными маршрутами.



Из графиков видно, что модели хорошо обучены и достигли стагнации.

Результаты оценки точности:

Модель с 1 входным маршрутом:

- точность выбора маршрута или остановки: 82.5%;

- точность выбора любого маршрута или остановки: 82.5%.

Модель с 2 входными маршрутами:

- точность выбора маршрута или остановки: 84.5%;

- точность выбора любого маршрута или остановки: 86.5%.

Модель с 3 входными маршрутами:

- точность выбора маршрута или остановки: 81%;

- точность выбора любого маршрута или остановки: 87.5%.

Данный анализ показывает, что при введении в модель информации об альтернативных маршрутах меняется точность определения действия «остаться в городе или продолжить движение». При этом каждый следующий маршрут будет вносить меньше влияния в данную оценку. Следовательно, необходимо рассматривать модели, принимающие переменное количество маршрутов для различных обстоятельств [8]. Также можно применять постоянное количество альтернативных маршрутов, но в этом случае если

маршрутов будет меньше, придется заполнять пропуски 0, из-за чего может быть неверная корреляция. Другой альтернативой является кодирование всех маршрутов в одном. Однако в этом случае необходимо рассмотреть преобразования данных: например, как объединить информацию о погоде на маршрутах, или о длине пути. Т.к., во-первых, логических способов объединить данные нет, во-вторых, в будущем данные будут добавляться для улучшения работы системы. И самое главное, мы не сможем выделить один маршрут из объединения, поэтому данный вариант неприменим.

Рассмотрим основные виды современных моделей [9]:

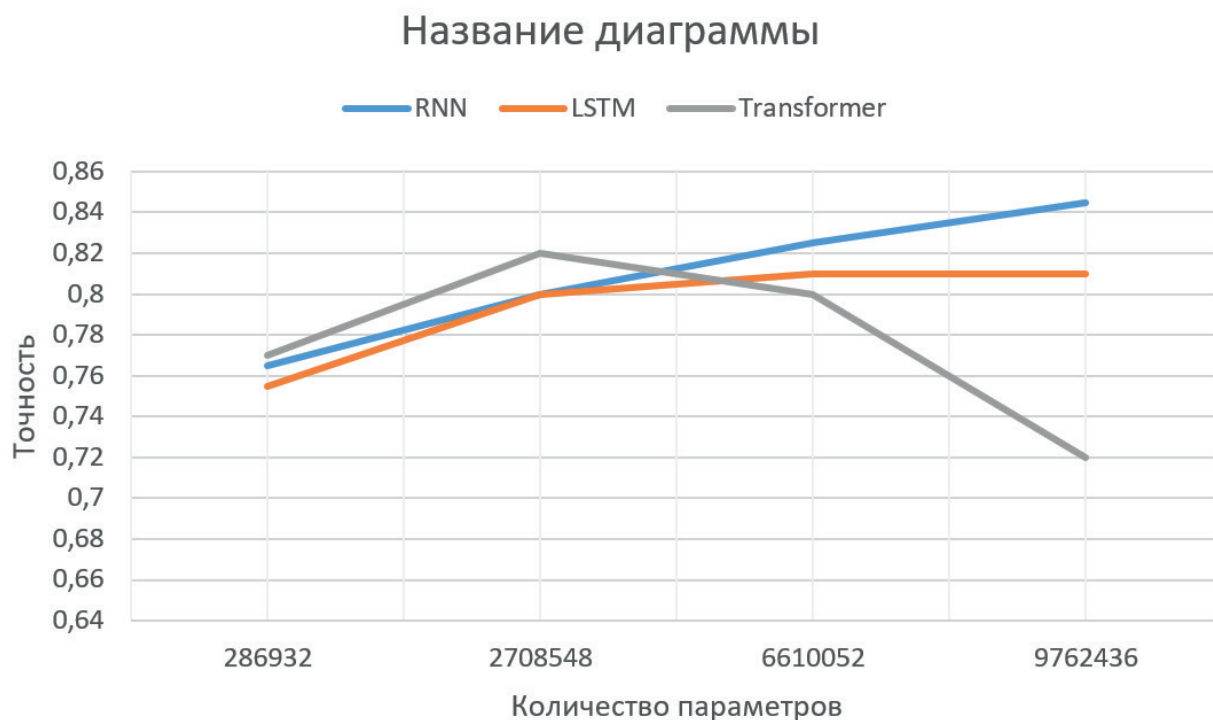
1) RNN – рекуррентная нейронная сеть. В исследовании будет применяться ее вариант GRU, в котором решена проблема взрывных и затухающих градиентов.

2) LSTM.

3) Transformer [10].

Для сравнения моделей между собой необходимо подобрать оптимальное количество параметров для каждой из моделей. Для этого будем сравнивать по 4 модели с различным количеством параметров. Оцениваться будут точность и количество параметров. Последний критерий будет прямым образом влиять на скорость расчетов модели и на потребление памяти.

Рисунок 5. Зависимости точности моделей от количества параметров.



На рисунке 5 можно увидеть, что с данным набором данных лучше всего справляется RNN (GRU). При этом стоит отметить, что Transformer при малом количестве параметров имеет хорошую точность, но при большем – наоборот точность начинает снижаться. Это обусловлено быстрым переобучением модели трансформера на приведенном наборе данных.

Важно отметить, что благодаря простоте внутреннего алгоритма GRU он рассчитывается быстрее, чем модель Transformer с тем же количеством параметров.

Сформируем следующие выводы:

- LSTM и RNN наименее подвержены переобучению на наборе данных маршрутов;

- затраты на время обучения у RNN меньше, чем у других рассмотренных моделей;

- скорость вычисления у LSTM и RNN выше, чем у transformer (при одинаковом количестве параметров);

- при малом количестве параметров точность модели Transformer выше.

Таким образом, модель Transformer лучше справляется с задачей по выявлению связей между параметрами маршрута для выбора лучшего варианта, однако необходимо следить за переобучением. Благодаря тому, что Transformer требует меньшее количество параметров для стабильной работы, это может компенсировать проигрыш во времени расчета в сравнении с RNN и LSTM.

Список литературы:

[1] Андреева Е. В. Многокритериальный подход в задаче выбора оптимальных маршрутов в акватории Северного морского пути / Е. В. Андреева // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2021. – Т. 13, № 3. – С. 399-408. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-3-399-408.

[2] Задача выбора оптимального маршрута беспилотного летательного аппарата при противодействующих, географических и погодных ограничениях в области полёта / К. Е. Лавренов, А. П. Шевелева, О. Т. Романов, М. Н. Машкин // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2021. – № 4(184). – С. 22-28.

[3] Новиков Л. В. Формирование маршрута с учетом коэффициента проходимости дорог для наземной группы поиска отделяемых частей ракет космического назначения и их фрагментов / Л. В. Новиков, О. Л. Шестопалова // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований : Сборник статей по материалам XXXIX международной научно-практической конференции, Новосибирск, 26 мая 2021 года / ООО «СИБАК». Том 5 (31). – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью «Сибирская академическая книга», 2021. – С. 32-37.

[4] Зырянов Д. А. Исследование применения генетических алгоритмов в задачах планирования маршрута в сравнении с эвристическими / Д. А. Зырянов, Е. М. Бади́ка, А. П. Бобрышов // Завалишинские чтения 25 : сборник докладов XX Международной конференции по электромеханике и робототехнике, Санкт-Петербург, 15–16 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2025. – С. 153-157.

[5] Шмыглев Д. Н. Модель обучения с подкреплением для оптимизации автопарка предприятия / Д. Н. Шмыглев, В. А. Судаков // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2024. – № 39. – С. 1-13. – DOI 10.20948/prepr-2024-39.

[6] Якимов, М. А. Анализ алгоритмов поиска маршрута в транспортной сети / М. А. Якимов, К. В. Операйло // Модели и методы повышения эффективности инновационных исследований : Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Воронеж, 04 июня 2021 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2021. – С. 176-184.

[7] Траск Э. Грожаем глубокое обучение. СПб.: Питер, 2019. 352 с.

[8] Качалов, О. И. Сравнение точности прогнозирования стоимости акций компании с использованием сверточной нейронной сети (CNN), простой рекуррентной нейронной сети (SIMPLE RNN) и рекуррентной нейронной сети на базе долгой краткосрочной памяти (LSTM) / О. И. Качалов, А. Н. Миронов, А. М. Володина // ИТ-Стандарт. – 2018. – № 4(17). – С. 49-61.

[9] Булатов, А. С. Обзор архитектуры рекуррентного Трансформера в контексте нейронных сетей с памятью / А. С. Булатов, Ю. М. Куратов, М. С. Бурцев // ТРУДЫ МФТИ. Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского университета). – 2024. – Т. 16, № 4(64). – С. 5-20.

[10] Патент № 2841111 С1 Российская Федерация, МПК В60W 60/00, G06N 3/02, G06V 10/82. Способ управления бортовыми системами беспилотных транспортных средств при помощи нейронных сетей на основе архитектуры трансформеров : заявл. 28.06.2024 : опубл. 02.06.2025 / А. А. А. Э. Карим, М. А. А. М. Хегази, Б. Рашид ; заявитель Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис».

References:

[1] Andreeva E. V. Multicriteria Approach to Selecting Optimal Routes in the Waters of the Northern Sea Route / E. V. Andreeva // Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. - 2021. - Vol. 13, No. 3. - Pp. 399-408. - DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-3-399-408.

[2] The Problem of Selecting the Optimal Route of an Unmanned Aerial Vehicle Subject to Counteracting, Geographical, and Weather Restrictions in the Flight Area / K. E. Lavrenov, A. P. Sheveleva, O. T. Romanov, M. N. Mashkin // Information Technologies in Design and Production. - 2021. - No. 4 (184). – P. 22-28.

[3] Novikov L. V. Formation of a route taking into account the road passability coefficient for a ground group searching for detachable parts of space rockets and their fragments / L. V. Novikov, O. L. Shestopalova // Issues of technical and physical-mathematical sciences in light of modern research: Collection of articles based on the materials of the XXXIX international scientific and practical conference, Novosibirsk, May 26, 2021 / SibAK LLC. Volume 5 (31). - Novosibirsk: Limited Liability Company «Siberian Academic Book», 2021. - P. 32-37.

[4] Zyryanov D. A. Study of the application of genetic algorithms in route planning problems in comparison with heuristic ones / D. A. Zyryanov, E. M. Badika, A. P. Bobryshov // Zavalishin Readings 25: collection of reports of the XX International Conference on Electromechanics and Robotics, St. Petersburg, April 15–16, 2025. – St. Petersburg: St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2025. – Pp. 153–157.

[5] Shmyglev D. N. Reinforcement learning model for optimizing an enterprise's vehicle fleet / D. N. Shmyglev, V. A. Sudakov // Preprints of the Keldysh Institute of Applied Mathematics. – 2024. – No. 39. – Pp. – DOI 10.20948/prepr-2024-39.

[6] Yakimov, M. A. Analysis of Route Search Algorithms in a Transport Network / M. A. Yakimov, K. V. Operaylo // Models and Methods for Improving the Efficiency of Innovative Research: Collection of Articles Following the Results of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, June 4, 2021. – Sterlitamak: International Research Agency, Limited Liability Company, 2021. – Pp. 176-184.

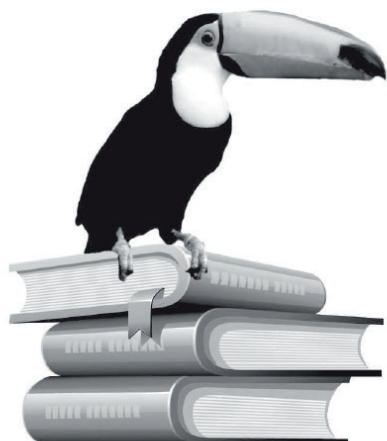
[7] Trask, E. Grokking Deep Learning. St. Petersburg: Piter, 2019. 352 p.

[8] Kachalov, O. I. Comparison of the Accuracy of Forecasting the Price of a Company's Stocks Using a Convolutional Neural Network (CNN), a Simple Recurrent Neural Network (SIMPLE RNN), and a Recurrent Neural Network Based on Long Short-Term Memory (LSTM) / O. I. Kachalov, A. N. Mironov, A. M. Volodina // IT-Standard. - 2018. - No. 4 (17). - Pp. 49-61.

[9] Bulatov, A. S. Review of the Architecture of a Recurrent Transformer in the Context of Neural Networks with Memory / A. S. Bulatov, Yu. M. Kuratov, M. S. Burtsev // MIPT PROCEEDINGS. Proceedings of the Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University). - 2024. - Vol. 16, No. 4

(64). - Pp. 5-20.

[10] Patent No. 2841111 C1 Russian Federation, IPC B60W 60/00, G06N 3/02, G06V 10/82. Method for controlling on-board systems of unmanned vehicles using neural networks based on transformer architecture : declared 28.06.2024 : published 02.06.2025 / A. A. A. E. Karim, M. A. A. M. Hegazy, B. Rashid ; applicant Autonomous Non-Commercial Organization of Higher Education «Innopolis University».



ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

АРУТЮНОВА Таисия Рубеновна,
студент,
КубГАУ,
e-mail: arutyunova.0505@mail.ru

КИСЛЯК Елизавета Романовна,
студент,
КубГАУ,
e-mail: kislyakelizaveta@yandex.ru

ИНОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМООПАСНЫХ ЗОНАХ

Аннотация. Статья посвящена системному анализу инновационных стратегий в области сейсмозащиты зданий и сооружений. Актуальность темы обусловлена глобальной потребностью в повышении устойчивости инфраструктуры в сейсмоопасных регионах, что требует перехода от традиционных методов проектирования, ориентированных на неразрушение, к комплексному управлению рисками и обеспечению функциональной устойчивости. Цель исследования заключается в проведении анализа технологий, перешедших из экспериментальной стадии в практическую реализацию, их сравнительной оценке и определении условий для эффективного внедрения. Научная новизна работы состоит в целостном рассмотрении современных подходов — гибридных систем, композитного усиления и цифрового мониторинга — как элементов единой эволюционной парадигмы, направленной на создание адаптивных и жизнеспособных сооружений.

В работе последовательно рассмотрены устоявшиеся классические подходы, такие как сейсмическое демпфирование и изоляция, а также детально проанализированы три ключевых направления практических инноваций: гибридные системы, сочетающие принципы изоляции и демпфирования, технология усиления композитными материалами и системы структурного мониторинга. Каждое направление иллюстрируется конкретными примерами внедрения на реальных объектах.

Методология исследования базируется на сравнительном анализе указанных технологий по критериям области применения, эффективности, стоимости и сложности внедрения. На основе этого анализа выявлены основные экономические, нормативные и кадровые барьеры, а также обоснован ключевой отраслевой тренд — переход к модели функциональной устойчивости, который делает инвестиции в современные системы сейсмозащиты стратегически и экономически оправданными.

Ключевые слова: сейсмозащита, сейсмическая изоляция, демпфирование, гибридные системы, композитные материалы, структурный мониторинг, функциональная устойчивость, сейсмическое строительство.

ARUTYUNOVA Taisiya Rubenovna,
student,
KubGAU

KISLYAK Elizaveta Romanovna,
student,
KubGAU

INNOVATIVE METHODS OF PROTECTING BUILDINGS AND STRUCTURES IN EARTHQUAKE-PRONE AREAS

Annotation. The article is devoted to a systematic analysis of innovative strategies in the field of seismic protection of buildings and structures. The relevance of the topic is due to the global need to increase the stability of infrastructure in earthquake-prone regions, which requires a transition from traditional non-destructive engineering methods to integrated risk management and functional stability. The purpose of the study is to analyze technologies that have passed from the experimental stage to practical implementation, to compare them and to determine the conditions for effective implementation. The scientific novelty of the work consists in a holistic consideration of modern approaches — hybrid systems, composite reinforcement

and digital monitoring — as elements of a single evolutionary paradigm aimed at creating adaptive and viable structures.

The paper consistently examines established classical approaches such as seismic damping and insulation, and analyzes in detail three key areas of practical innovation: hybrid systems combining the principles of insulation and damping, reinforcement technology with composite materials, and structural monitoring systems. Each direction is illustrated with specific examples of implementation on real objects.

The research methodology is based on a comparative analysis of these technologies according to the criteria of scope, effectiveness, cost and complexity of implementation. Based on this analysis, the main economic, regulatory and personnel barriers have been identified, as well as a key industry trend has been substantiated — the transition to a model of functional stability, which makes investments in modern seismic protection systems strategically and economically justified.

Key words: seismic protection, seismic isolation, damping, hybrid systems, composite materials, structural monitoring, functional stability, seismic construction.

Повышение сейсмической устойчивости сооружений остается одной из наиболее актуальных задач современного строительства в регионах с высокой сейсмической активностью. Так, например, около четверти территории Российской Федерации относится к категории сейсмоопасных. На более чем 1 млн 700 тыс. км² этой территории регулярно происходят землетрясения интенсивностью 6–9 баллов [2, с. 167]. Традиционные подходы, основанные на увеличении прочности и жесткости несущих конструкций, демонстрируют свою ограниченность, часто приводя значительным материальным потерям, например, к увеличению расхода арматуры на 22–45% в плитах перекрытия или при проектировании на сейсмические нагрузки. Такой метод не только не всегда экономически оправдан, но и приводит к увеличению массы и, как следствие, инерционной сейсмической нагрузки, что требует активного внедрения новых эффективных методов, способных адаптироваться к воздействию [1, с. 181]. В этой связи в мировой инженерной практике происходит последовательный переход от парадигмы пассивного сопротивления к стратегиям активного управления сейсмическим воздействием.

Данная эволюция выражается в разработке и внедрении инновационных технических решений, направленных не на противодействие кинетической энергии землетрясения, а на ее контроль, диссипацию или изоляцию от сооружения. К числу таких решений относятся системы сейсмического демпфирования и изоляции, которые за последние десятилетия перешли из разряда экспериментальных в категорию проверенных технологий. В настоящее время вектор исследований смещается в сторону адаптивных систем, материалов с заданными свойствами и комплексных цифровых методологий прогнозного анализа.

Основу современной практики сейсмостойкого строительства составляют два принципиальных подхода, представляющих собой технологическую основу, от которой развиваются новые инновационные решения.

Принцип сейсмического демпфирования основан на целенаправленном рассеивании кинетической энергии колебаний внутри самой

конструкции. Для этого в несущую систему интегрируются специальные устройства — демпферы. Наиболее распространены вязкоупругие демпферы, работающие на сдвиг слоя полимерного материала; гидравлические демпферы, диссипирующие энергию за счет перетекания жидкости через калиброванные отверстия; и фрикционные демпферы, в которых трение между специальными пластинами преобразует энергию в тепло.

Отдельным высокоэффективным решением для высотных зданий являются маятниковые гасители колебаний, представляющие собой массивный груз, подвешенный на верхних этажах и движущийся в противофазе основным колебаниям здания. Наиболее известным примером служит сферический стальной маятник массой 660 тонн, установленный на 87–92 этажах небоскреба Тайбэй 101 в Тайване, предназначенный для противодействия ветровым и сейсмическим колебаниям. Маятник выполняет роль своеобразного виброгасителя, а его работа основана на формировании силовых воздействий, передаваемых на объект [5, с. 203]. Существенным практическим достоинством таких систем является возможность их интеграции в существующие каркасы при сейсмическом усилении. Однако их эффективность строго зависит от точности динамического расчета и правильного позиционирования, а сами устройства могут занимать полезный объем и требовать периодической проверки.

Второй принцип — принцип сейсмической изоляции. Он реализует иную концепцию — не гашение, а предотвращение передачи основной доли сейсмической энергии от грунта к надфундаментной части сооружения. Это достигается за счет устройства специального деформационного горизонта — сейсмоизоляторов — на уровне фундамента или промежуточных опор. Наибольшее распространение получили эластомерные опоры, обладающие высокой вертикальной жесткостью и значительной горизонтальной податливостью, а также сферические опоры скольжения, позволяющие зданию смещаться по криволинейной поверхности. Крупнейшим в мире проектом с использованием данной технологии на момент строительства стал новый Международный терминал аэропорта в Сан-Франциско, введенный

в эксплуатацию в 2000 году. Под всем зданием терминала, площадь которого превышает 150000 м², было установлено 267 сейсмоизоляционных опор. Каждая опора рассчитана на перемещение до 50 см в любом горизонтальном направлении. В случае сильного землетрясения эти опоры позволяют массивному зданию терминала плавно качаться на своей фундаментной плите, изолируя его от разрушительных колебаний грунта.

Главным преимуществом сейсмической изоляции является кардинальное, в разы, снижение расчетных усилий и ускорений в несущих конструкциях и, как следствие, повышение уровня защищенности как самого здания, так и его содержимого. Так, внедрение резинометаллических опор позволяет снизить усилия в конструкциях до 56,5%, а перемещения верха здания до 45%. Основными ограничениями данного подхода являются высокая начальная стоимость, необходимость обеспечения значительных зазоров для свободного перемещения изолированного сооружения, сложность устройства входа инженерных коммуникаций и неприменимость на участках с крутым рельефом. Несмотря на эти барьеры, сейсмическая изоляция признана стандартом для объектов повышенной ответственности в регионах с высокой сейсмичностью.

Современные инновационные стратегии в сейсмозащите развиваются не только в области фундаментальных исследований, но и как внедряемые технологии, которые уже сегодня применяются в ответственных проектах по всему миру. Так, сравнительный анализ показывает, что применение ограничителей колебаний в системах с гибкими связями позволяет снижать максимальные остаточные перемещения в 5-9 раз, в зависимости от параметров системы.

Гибридные системы сейсмозащиты представляют собой один из наиболее практичных инновационных подходов. Они сочетают в одной конструкции несколько принципов, например, сейсмическую изоляцию с дополненным демпфированием. Ярким примером служит Национальный музей западного искусства в Токио, где в ходе реконструкции под главное здание, спроектированное Ле Корбюзье, была интегрирована система свинцово-резиновых опор в сочетании с жидкостными демпферами. Гибридная установка не только изолирует здание, но и эффективно поглощает остаточную энергию, обеспечивая высочайший уровень защиты для музейных фондов.

Другой практически реализуемой инновацией является применение высокоточных композитных материалов на основе полимерных волокон для сейсмического усиления существующих зданий. Данная технология представляет собой эффективную альтернативу традиционным методам, таким как наращивание железобетонных обоев или установка стальных распорок, которые часто значительно утяжеляют конструкцию и меняют ее архитектурный облик.

Суть метода заключается в наклейке на поверхность несущих элементов высокопрочных ламелей, тканей или сеток из углеродного, стеклянного или арамидного волокна, пропитанных эпоксидной смолой. Образованный композитный слой работает как внешняя арматура, повышая прочность, сцепление и сейсмическую пластичность конструкции. Ключевыми преимуществами являются минимальное увеличение массы и сечения, что критически важно для исторических зданий и объектов со слабыми фундаментами, а также высокая скорость монтажа и возможность обработки сложных поверхностей.

Системы структурного мониторинга (SHM) перестали быть экспериментальными и стали обязательным элементом для уникальных и высотных сооружений. Например, небоскреб Бурдж-Халифа в Дубае оснащен разветвленной сетью из сотен стационарных датчиков, в числе которых акселерометры, фиксирующие ускорения от ветровых и сейсмических колебаний по всей высоте здания, GPS-приемники, отслеживающие абсолютные смещения, и тензометрические датчики, измеряющие деформации в ключевых несущих элементах. Данные в реальном времени поступают в центр управления, где анализируются для обеспечения безопасности и планирования превентивного обслуживания. Такая система позволяет оперативно выявлять любые отклонения от проектного поведения.

Практическое применение инновационных стратегий требует их объективного сопоставления и осознания текущих ограничений. Сравнительный анализ показывает, что технологии не конкурируют, а дополняют друг друга, занимая свои рыночные ниши. Классические системы изоляции и демпфирования остаются базовым решением для нового строительства. При этом важно отметить, что системы сейсмоизоляции, помимо прямого защитного эффекта, обеспечивают зданию более высокую ремонтпригодность, поскольку возможные отказы локализуются в доступных и заменяемых элементах изоляции, а не в скрытых несущих конструкциях [4, с. 9]. Гибридные системы и композитное усиление эффективны для объектов с особыми требованиями и реконструкции, а структурный мониторинг становится стандартом для уникальных и ответственных сооружений.

Основные барьеры внедрения носят экономический и нормативный характер, усугубляясь методологической сложностью уникального проектирования для каждого объекта, исходя из его геометрических параметров, геологических свойств территории и прочих влияющих факторов [3, с. 475]. К ним относятся высокая первоначальная стоимость инновационных материалов и решений, отставание строительных норм от темпов технологического развития, а также дефицит специализированных инженерных кадров. Дополнительным сдерживающим фактором явля-

ется консерватизм заказчиков, предпочитающих проверенные, хотя и менее совершенные варианты.

Текущие отраслевые тенденции, однако, способствуют постепенному преодолению этих барьеров. Наблюдается снижение стоимости ключевых компонентов, таких как датчики и композиты, за счет масштабирования производства. Происходит интеграция технологий в комплексные инженерные системы. Усиливается тренд на цифровизацию и управление объектом на основе данных на всех этапах жизненного цикла, что повышает обоснованность инвестиций в

инновации. Приоритет смещается с концепции «неразрушения» к достижению функциональной устойчивости, что делает передовые решения экономически оправданными для критически важной инфраструктуры.


В итоге, будущее развития направления связано не с поиском универсального решения, а с адаптивным комбинированием проверенных и перспективных технологий на основе данных и точного анализа рисков, что в итоге ведет к созданию более безопасной, экономичной и устойчивой архитектурной среды.

Список литературы:

- [1] Дудников М. А., Дроздов В. В. Повышение сейсмической надежности высотных зданий на основе информационного обеспечения // *Инновации и инвестиции*. — 2023. — №. 4. — С. 475-477.
- [2] Зайнулабидова Х.Р. Оптимизация параметров сейсмоизоляции каркасных зданий с применением адаптивных методов // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. — 2024. — №. 3. — С. 180-188.
- [3] Захаров С. А., Дроздов В. В., Калиновский С. А., Воробьева А. Д. Классифицирование систем и методов защиты зданий и сооружений в сейсмически активных районах // *Экономика строительства*. — 2023. — №. 4. — С. 167-171.
- [4] Левинсков К.Е., Пугач Е.М. Особенности применения технологий строительства сейсмостойких зданий // *Вестник евразийской науки*. — 2024. — №. 2. — С. 1-13.
- [5] О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов / «Защита технических систем от динамических воздействий» / *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. — 2013. — № 4 (8). — С. 201–206.

References:

- [1] Dudnikov M. A., Drozdov V. V. Increasing the seismic reliability of high-rise buildings based on information support // *Innovations and Investments*. - 2023. - No. 4. - P. 475-477.
- [2] Zainulabidova H.R. Optimization of seismic isolation parameters of frame buildings using adaptive methods // *Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences*. - 2024. - No. 3. - P. 180-188.
- [3] Zakharov S. A., Drozdov V. V., Kalinovsky S. A., Vorobyova A. D. Classification of systems and methods for protecting buildings and structures in seismically active areas // *Construction Economics*. - 2023. - No. 4. - P. 167-171.
- [4] Levinskoy, K.E., Pugach E.M. Features of the application of technologies for the construction of earthquake-resistant buildings // *Bulletin of Eurasian Science*. - 2024. - No. 2. - P. 1-13.
- [5] O. Sh. Hadi, A. N. Litvinov / «Protection of technical systems from dynamic impacts» / *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. - 2013. - No. 4 (8). - P. 201-206.



Юрическое издательство «ЮРКОМПАНИ»
издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.

ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-68-73

ЛЕГАЕВ Александр Иванович,

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: legaevthm@rambler.ru

ВОЛКОВА Наталия Николаевна,

кандидат технических наук, доцент,

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: volkova-txm@mail.ru

ДЭРК Владимир Александрович,

аспирант,

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: vladimir.derk.found@yandex.ru

ЧАЩИЛОВА Виктория Дмитриевна,

студент,

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: bablingtea1020315@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШКИ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПОСЛЕ ПЕРЕКИСНОЙ ОТБЕЛКИ НА ПОКАЗАТЕЛЬ БЕЛИЗНЫ

Аннотация. Микрокристаллическая целлюлоза — это продукт химической деструкции целлюлозы. Она представляет собой белый иногда желтоватый кристаллический порошок без вкуса и запаха, используемый в различных отраслях промышленности. В фармацевтической, пищевой и косметической промышленности микрокристаллическая целлюлоза должна соответствовать высоким требованиям качества, включая показатель белизны, который достигается при помощи процесса отбеливания. Наиболее экологичным способом отбеливания является обработка пероксидом водорода, так как в отличие от отбеливания хлорсодержащими реагентами в окружающую среду не выделяется хлорорганических соединений. Белизна микрокристаллической целлюлозы после отбеливания, промывки и сушки служит одним из определяющих критериев качества продукта. Было проведено исследование процесса сушки горячим воздухом микрокристаллической целлюлозы, отбеленной раствором перекиси водорода. Для экспериментов была получена микрокристаллическая целлюлоза путём гидролиза хлопковой целлюлозы с использованием смеси серной и азотной кислот. В рамках исследования выполнены три опыта по получению микрокристаллической целлюлозы с варьированием параметров гидролиза и сушки. Полученные образцы имели разные показатели белизны. Эксперименты выявили снижение белизны при длительной сушке при высоких температурах. На основании данных об изменении белизны была проведена серия опытов по сушке образцов микрокристаллической целлюлозы при трёх различных температурах. Результаты показали, что скорость роста показателя белизны уменьшается с повышением температуры. На основе экспериментальных данных об изменении белизны в зависимости от режимов сушки предложен оптимальный режим сушки продукта горячим воздухом. Показатели белизны полученных образцов соответствуют стандартным значениям, что подтверждает

эффективность предложенной схемы сушки.

Ключевые слова: микрокристаллическая целлюлоза, гидролиз целлюлозы, перекисная отбелка, показатель белизны, время сушки, температура сушки.

LEGAEV Aleksandr Ivanovich,

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of Department, Biysk Technological Institute (branch)
of I.I. Polzunov Altai State Technical University*

VOLKOVA Natalia Nikolaevna,

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Biysk Technological Institute (branch)
of I.I. Polzunov Altai State Technical University*

DERK Vladimir Aleksandrovich,

*Postgraduate Student,
Biysk Technological Institute (branch)
of I.I. Polzunov Altai State Technical University*

CHASHCHILOVA Victoria Dmitrievna,

*Student, Biysk Technological Institute (branch)
of I.I. Polzunov Altai State Technical University*

STUDIES OF THE INFLUENCE OF DRYING TEMPERATURE MICROCRYSTALLINE CELLULOSE AFTER PEROXIDATION BLEACHING ON THE WHITENESS INDEX

Annotation. *Microcrystalline cellulose is a product of the chemical degradation of cellulose. It is a white, sometimes yellowish, crystalline powder, tasteless and odorless, used in various industries. In the pharmaceutical, food, and cosmetic industries, microcrystalline cellulose must meet high quality requirements, including whiteness, which is achieved through the bleaching process. The most environmentally friendly method of bleaching is treatment with hydrogen peroxide, since, unlike bleaching with chlorine-containing reagents, no organochlorine compounds are released into the environment. The whiteness of microcrystalline cellulose after bleaching, washing and drying is one of the defining criteria for product quality. A hot-air drying process of microcrystalline cellulose bleached with a solution of hydrogen peroxide was investigated. For the experiments, microcrystalline cellulose was obtained by hydrolysis of cotton cellulose using a mixture of sulfuric and nitric acids. As part of the study, three experiments were performed to obtain microcrystalline cellulose with varying parameters of hydrolysis and drying. The samples obtained had different whiteness values. Experiments have revealed a decrease in whiteness during prolonged drying at high temperatures. Based on the data on the change in whiteness, a series of experiments were conducted on drying microcrystalline cellulose samples at three different temperatures. The results showed that the growth rate of the whiteness index decreases with increasing temperature. Based on experimental data on the change in whiteness depending on the drying modes, the optimal hot air drying mode is proposed. The whiteness indicators of the obtained samples correspond to standard values, which confirms the effectiveness of the proposed drying scheme.*

Key words: *microcrystalline cellulose, cellulose hydrolysis, peroxide bleaching, whiteness index, drying time, drying temperature.*

Введение

Микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) является продуктом химической деструкции целлюлозы, представляет собой чистую целлюлозу с высокой степенью кристалличности 0,63–0,80% [1, с.67], высокой плотностью и высокой удельной поверхностью. Средняя степень полимеризации различных продуктов лежит в интервале 60–350.

МКЦ не растворима в воде, но образует с ней устойчивые гели; при измельчении в воде даёт коллоидные растворы. Она устойчива к органическим растворителям, обладает высокой реакционной способностью по отношению к реакциям

этерификации, алкилирования, окисления и др.

Внешне МКЦ представляет собой белый, иногда желтоватый порошок без вкуса и запаха, не токсична для человека.

Микрокристаллическая целлюлоза широко применяется в разных областях промышленности: в качестве носителя катализаторов, сорбента для очистки жиров и масел, носителя антибиотиков; в качестве наполнителя, стабилизатора и эмульгатора в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности; в качестве стабилизатора в производстве лакокрасочных изделий и др. [2, с. 578].

Широкое применение МКЦ в самых разных

отраслях создаёт необходимость производства большого количества высококачественного продукта для удовлетворения нужд производства. Однако на данный момент свыше 90 % микрокристаллической целлюлозы, представленной на рынке в Российской Федерации, — импортный продукт [3].

Исходя из этого, особую важность приобретает разработка и усовершенствование технологических процессов производства микрокристаллической целлюлозы. Одним из таких процессов является отбелка.

К МКЦ, используемой в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности, предъявляются повышенные требования по показателю белизны [4]. Существуют несколько способов отбелки МКЦ, отличающихся в первую очередь отбеливающим агентом. В качестве отбеливающего агента могут быть использованы гипохлорит натрия или перекись водорода [5, с. 41].

Основным преимуществом проведения процесса отбелки перекисью водорода является экологичность отбеливающего агента [6, с.8], так как отбелка гипохлоритом натрия происходит с выделением хлора.

После отбелки МКЦ промывают и высушивают. Показатель белизны после сушки является конечным, он определяет качество МКЦ и дальнейшую возможность применения в фармацевтической, косметической и пищевой отраслях промышленности.

Целью работы стало исследование влияния процесса сушки МКЦ после перекисной отбелки на итоговый показатель белизны для определения оптимальных технологических режимов.

Объекты и методы исследования

В качестве сырья использовалась МКЦ, по-

лученная гидролизом хлопковой целлюлозы (ХЦ). Единовременная загрузка ХЦ — 2 кг, модуль гидролиза — 12,5. Концентрация серно азотной кислотной смеси — 3 %; время нагрева массы до 98 °С — 45 мин, время гидролиза — 60 мин, время остывания — 30 мин.

Азотная кислота добавлена для снижения коррозионного воздействия реакционной массы на стенки лабораторного аппарата из нержавеющей стали [7, с. 115].

По окончании гидролиза массу промыли на вакуумной воронке дистиллированной водой. Средний показатель белизны МКЦ (по пяти образцам) составил 91 %.

В качестве отбеливателя использовался пероксид водорода марки Б по ГОСТ 177 88. Измерения белизны проводили по методу, описанному в п.8 ГОСТ 30437-96 «Целлюлоза. Метод определения белизны» в сертифицированной лаборатории ООО «Бия Синтез» (г. Бийск).

Раствор перекиси водорода готовили следующим образом: 33 мл перекиси водорода концентрацией 33 % разбавили до 1 л дистиллированной водой, получив массовую концентрацию 1 %.

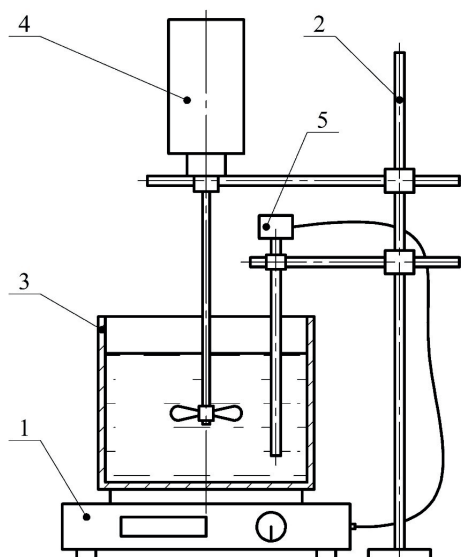
В процессе исследования провели три опыта с одинаковым количеством исходных веществ, но разными температурой, временем сушки и временем отбелки. Цель — получить опытные данные о процессе сушки при разных температурах и исходных значениях показателя белизны.

Для сушки использовался сушильный шкаф стерилизатор с диапазоном рабочих температур от 10 до 300 °С. Вариация температуры при 150 °С составляет $\pm 1,7$ °С.

Схема лабораторной установки для проведения отбеливания представлена на рисунке 1.

Рисунок 1. Схема лабораторной установки.

1 – электроплитка с регулятором температуры; 2 – штатив; 3 – бак из нержавеющей стали ($V=1,8$ л); 4 – погружная мешалка с электроприводом; 5 – внешний термодатчик.



1) Контрольный опыт. Образец МКЦ массой 300 г залили 1 л раствора перекиси водорода концентрацией 1 %. Поскольку перекисная отбелка МКЦ проводится при pH 10–11 [8, с. 179], в реакционную массу постепенно добавляли по 1 капле раствора гидроксида натрия (50 %) до достижения pH 11. После загрузки реакционную массу перемешивали в течение 5 мин. Затем массу кипятили на электроплите 20 мин.

При достижении температуры 50 °С наблюдалось псевдокипение: пузырьки кислорода поднимались со дна, увлекая за собой частицы МКЦ. При закипании на поверхности образовывалась пена, которую удаляли в процессе подогрева и кипячения (при выключенной мешалке).

По окончании процесса отбеленную массу охлаждали до 50 °С, сливали в вакуумную воронку, промывали дистиллированной водой и высушивали при 100 °С в сушильном шкафу в течение 5 ч. Выход продукта составил 195,4 г (65 % от первоначальной загрузки). Показатель белизны после сушки — 98,5 %.

2) После приготовления белильного раствора в него загрузили 300 г МКЦ, подогрели до 70 °С и выдерживали 30 мин. Затем массу отфильтровали на вакуумной воронке и высушили при 135 °С в течение 3 ч. Выход продукта — 193,5 г (64,5 %). Показатель белизны после сушки — 92,5 %.

3) Опыт проводили аналогично опыту 2, но время выдержки увеличили до 70 мин. Выход продукта составил 194,3 г (64,8 %). Показатель белизны после высушивания — 94,5 %.

Отбор проб на определение степени белизны производили после фильтрации и через каждые 30 минут в процессе сушки.

Пробы отбирались следующим образом:

Из массы МКЦ четыре раза случайным образом отбирали по 1,5–2 г порошка. Полученные навески ссыпали в стеклянный стакан и тщательно перемешивали. Затем МКЦ распределяли на 3 порции по 2 г каждая. Среднее значение белизны трёх порций округлили до 0,1 %.

Результаты представлены в таблице 1 в виде среднего значения \pm стандартное отклонение.

Таблица 1. Показатели белизны в зависимости от продолжительности сушки.

№ п/п	Время отбора	Показатель белизны, %	
		2 опыт	3 опыт
1	После фильтрации	96,5 \pm 0,3	98,3 \pm 0,3
2	Через 30 минут сушки	92,5 \pm 0,2	97,0 \pm 0,3
3	Через 60 минут сушки	92,5 \pm 0,3	95,0 \pm 0,4
4	Через 90 минут сушки	93,5 \pm 0,3	92,5 \pm 0,3
5	Через 120 минут сушки	91,0 \pm 0,3	93,0 \pm 0,4
6	Через 150 минут сушки	92,0 \pm 0,2	92,0 \pm 0,3
7	Через 180 минут сушки	92,5 \pm 0,1	94,5 \pm 0,3

Как видно из таблицы 1, в процессе сушки МКЦ потеряла по белизне 4 ед. в первом опыте и 3,8 ед. во втором.

Для определения оптимального режима сушки повторно провели третий опыт до момента выдержки промытого продукта при температуре

135 °С в течение 90 минут. Получена МКЦ влажностью 21,9%, массой 230 г и средним показателем белизны 92,5%. Продукт разделили на три равные части и досушивали при температурах 105 °С, 120 °С, 135 °С.

Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Показатель белизны в зависимости от продолжительности и температуры сушки.

№ п/п	Время сушки, мин	T-ра сушки 105 °С	T-ра сушки 120 °С	T-ра сушки 135 °С
		Показатель белизны, %		
1	0	92,5±0,2	92,5±0,2	92,5±0,3
2	30	93,0±0,2	94,2±0,2	95,0±0,3
3	60	94,0±0,3	94,0±0,2	94,2±0,2
4	90	95,5±0,3	93,4±0,3	94,5±0,3
5	120	94,0±0,2	94,0±0,1	94,0±0,2
6	150	95,3±0,3	93,9±0,3	94,3±0,3
7	180	96,6±0,3	93,6±0,2	93,3±0,3
8	210	96,6±0,2	93,5±0,3	93,0±0,3
9	240	96,6±0,4	93,6±0,2	93,0±0,2

Из таблицы 2 видно, что показатель белизны сильнее возрастает в процессе досушивания при температуре 105 °С.

На основе полученных данных предложена следующая схема сушки:

1. После промывки влажный продукт высушивать при температуре 135 °С в течение 60 минут.

2. Затем досушить продукт при температуре 105 °С в течение 120 минут.

Для проверки предложенной схемы провели процесс отбели: Навеска МКЦ — 300 г; Время выдержки — 70 минут при температуре 70 °С; Дальнейшая сушка — по предложенному методу.

Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Показатель белизны в зависимости от температуры и времени процесса.

Этап	Показатель белизны, %
После промывки	98,5±0,3
Выдержка при температуре 135°С, 30 минут	97,5±0,3
Выдержка при температуре 135°С, 60 минут	96±0,3
Выдержка при температуре 100°С, 30 минут	96±0,2
Выдержка при температуре 100°С, 60 минут	97,5±0,2
Выдержка при температуре 100°С, 90 минут	98±0,3
Выдержка при температуре 100°С, 120 минут	98±0,2

Выводы

1. Проведены опытные работы по исследованию процесса сушки МКЦ после перекисной отбели. Поставлено четыре опыта с различными условиями отбели и сушки. Полученные данные

показывают, что длительное выдерживание МКЦ при температуре выше 105 °С приводит к меньшему росту показателя белизны.

2. Предложена и отработана оптимальная схема сушки МКЦ после перекисной отбели горячим воздухом (см. таблицу 3).

Список литературы:

[1] Каплев Е. В. Технология получения микрокристаллической целлюлозы с предгидролизным размолотом на примере образцов биоповреждённой древесины хвойных пород / Е. В. Каплев, Л. В. Юртаева, Ю. Д. Алашкевич, В. Д. Ворончихин, С. А. Пожаркова, Е. Р. Колосова, В. А. Патраков // Хвойные бореальной зоны. — 2024. — № 5. — С. 66–73.

[2] Азаров В. И. Химия древесины и синтетических полимеров : учебник для вузов / В. И. Азаров, А. В. Буров, А. В. Оболенская. — Санкт Петербург : СПбЛТА, 1999. — 628 с.

[3] ПКР : бизнес планы, инвестпроекты, маркетинговые исследования [Электронный ресурс] / ООО «ПКР». — Режим доступа: <https://prcs.ru/> (дата обращения: 18.11.2025).

[4] Технические условия 64-11-129-92. Целлюлоза пищевая «Анكير» / разработ. и изд. АО «ВНИИСВ» (Всероссийский научно-исследовательский институт синтетических волокон). — Тверь : АО «ВНИИСВ», 1992. — 24 с.

[5] Хакимова Ф. Х. Отбели целлюлозы : учебное пособие / Ф. Х. Хакимова, Т. Н. Ковтун. — Пермь : Пермский государственный технический университет, 2010. — 182 с.

[6] Ковалева О. П. Отбели целлюлозы : учебное пособие / О. П. Ковалева. — Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — 92 с.

[7] Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов : справочник / Д. Г. Туфанов. — 5 е издание. — Москва : Metallurgy, 1990. — 320 с.

[8] Сизов А. С. Отбели микрокристаллической целлюлозы, полученной методом газофазного гидролиза / А. С. Сизов, С. Д. Пименов, А. Д. Строителева, Е. Д. Строителева // Известия вузов. Лесной журнал. — 2021. — № 6. — С. 173–183.

References:

[1] Kaplev E.V. Technology of obtaining microcrystalline cellulose with pre-hydrolysis grinding on the example of samples of biodamaged coniferous wood / E.V.Kaplev, L.V.Yurtaeva, Yu.D.Alashkevich, V.D.Voronchikhin, S.A.Pozharkova, E.R.Kolosova, V.A.Patrakov // Conifers of the boreal zone. - 2024. - No. 5. - Pp. 66-73.

[2] Azarov V.I. Chemistry of wood and synthetic polymers: a textbook for universities / V.I.Azarov, A.V.Burov, A.V.Obolenskaya. - St. Petersburg: SPbLTA, 1999. - 628 p.

[3] PKR: business plans, investment projects, marketing research [Electronic resource] / ООО «ПКР». — Access mode: <https://prcs.ru/> (date accessed: 18.11.2025).

[4] Technical conditions 64-11-129-92. Food cellulose «Ankir» / developed. and published. by JSC «VNIISV» (All-Russian Research Institute of Synthetic Fibers). — Tver: JSC «VNIISV», 1992. — 24 p.

[5] Khakimova F.Kh. Pulp bleaching: a tutorial / F.Kh. Khakimova, T.N. Kovtun. — Perm: Perm State Technical University, 2010. — 182 p.

[6] Kovaleva O.P. Pulp bleaching: a tutorial / O.P. Kovaleva. — Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2023. — 92 p.

[7] Tufanov D.G. Corrosion resistance of stainless steels, alloys, and pure metals: a reference book / D.G.Tufanov. — 5th edition. — Moscow: Metallurgy, 1990. — 320 p.

[8] Sizov A.S. Bleaching of microcrystalline cellulose obtained by gas-phase hydrolysis / A.S.Sizov, S.D.Pimenov, A.D.Stroiteleva, E.D.Stroiteleva // News of universities. Forestry magazine. — 2021. — No. 6. — P. 173–183.



КИСЕЛЕВА Анастасия Юрьевна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II,
e-mail: kiselyova.anastacia@yandex.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ АНТЕНН ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДНИКОВ АНТАРКТИДЫ

Аннотация. Актуальность. Совершенствование антенных систем для георадиолокационного зондирования ледников Антарктиды представляет собой актуальную научно-практическую задачу в контексте мониторинга климатических изменений. Повышение точности оценки толщины льда, выявления субледниковых водоёмов и анализа внутренней стратификации ледникового щита критически зависит от энергоэффективности, широкополосности и помехоустойчивости антенно-фидерного тракта, что особенно важно для автономных платформ в экстремальных условиях. Методы. Проведён системный сравнительный анализ классических и перспективных антенных конфигураций, включая полуволновые диполи, V-образные излучатели, рамочные антенны, широкополосные конструкции типа bow-tie и современные ММО-системы. Оценка выполнялась по ключевым параметрам: глубина зондирования, временное и пространственное разрешение, полоса пропускания, устойчивость к климатическим воздействиям и энергопотребление. Результаты. Установлено, что каждая антенная архитектура обладает специфической областью применения, а современный тренд заключается в переходе от одиночных излучателей к многоканальным системам с цифровым формированием луча и синтезом апертуры. Обсуждение и выводы. Доказана необходимость комплексного подхода к проектированию антенн, учитывающего электрофизические свойства льда и экстремальные эксплуатационные условия. Перспективы развития связаны с внедрением метаматериалов для миниатюризации и расширения полосы пропускания, оптимизацией многоканальных архитектур и применением методов машинного обучения для автоматического подавления помех и интерпретации данных. Реализация этих направлений позволит значительно повысить детальность радиогляциологических исследований и достоверность прогнозов динамики ледникового покрова Антарктиды, что имеет фундаментальное значение для понимания глобальных климатических процессов.

Ключевые слова: георадиолокационное зондирование, антенные системы, ледниковый щит Антарктиды, широкополосные антенны, ММО-технологии.

KISELYOVA Anastasia Yuryevna,
Postgraduate Student,
Empress Catherine II
Saint Petersburg Mining University

COMPARATIVE ANALYSIS OF ANTENNA DESIGNS FOR AUTONOMOUS GEORADIOLOCATION STUDIES OF ANTARCTIC GLACIERS

Annotation. Relevance. Improving antenna systems for georadar sensing of Antarctic glaciers is an urgent scientific and practical task in the context of monitoring climate change. The accuracy of ice thickness estimates, identification of subglacial reservoirs and analysis of the internal stratification of the ice sheet depend critically on the energy efficiency, broad-bandwidth and noise immunity of the antenna-feeder path. This is especially important for autonomous platforms under extreme conditions. Methods. A systematic comparative analysis was carried out on classical and promising antenna configurations including half-wave dipoles, V-shaped radiators, loop antennas and bow-tie structures with broadband MIMO systems. The assessment was based on key parameters such as depth of sensing, temporal and spatial resolution, bandwidth and resistance to climactic influences. Results. It has been established that each antenna architecture has a specific field of application, and the current trend is to switch from single radiators to multi-channel systems with digital beam shaping and aperture synthesis. Discussion and conclusions. The necessity of an

integrated approach to antenna design, taking into account the electrophysical properties of ice and extreme operating conditions, is proved. Development prospects are related to the introduction of metamaterials for miniaturization and bandwidth expansion, optimization of multi-channel architectures, and use of machine learning methods for automatic interference suppression and data interpretation. Implementation of these directions will significantly increase detail of radioglaciology studies and reliability of forecasts for Antarctic ice dynamics, which is fundamental for understanding global climate processes.

Key words: geolocation sensing, antenna systems, the Antarctic ice sheet, broadband antennas, MIMO technologies.

Введение

Георадиолокационное зондирование является одним из ключевых инструментов исследования внутренней структуры ледяного щита Антарктиды, анализа его динамики и оценки устойчивости в условиях современных климатических изменений. Радиолокационные методы обеспечивают получение данных о толщине ледникового покрова, стратификации снежно-ледяных слоёв, наличии субледниковых озёр и морфологии ложа, что имеет принципиальное значение для гляциологических и климатических исследований [1, с. 1–2].

В последние годы наблюдается активное развитие георадиолокационных комплексов, ориентированных на дистанционный мониторинг ледников как в рамках сезонных полевых экспедиций, так и с использованием стационарных или мобильных автономных платформ [2, 52–53]. Ключевым роль в таких системах играет антенно-фидерный тракт, который определяет глубину зондирования, пространственное и временное разрешение, энергетическую эффективность и надёжность функционирования всего комплекса [3, с. 1–2].

Современные требования к антеннам для георадиолокации в антарктических условиях существенно возросли. Наряду с обеспечением широкого частотного диапазона и высокой мощности излучения, антенны должны обладать малой массой, высокой транспортабельностью, энергоэффективностью и устойчивостью к экстремальным климатическим воздействиям, включая низкие температуры, обледенение и сильные ветровые нагрузки.

Хотя классические антенные решения, такие как полуволновые и V-образные диполи, рамочные и широкополосные антенны типа bow-tie, успешно применялись в гляциологических экспедициях предыдущих десятилетий, дальнейшее повышение эффективности георадиолокационных систем требует их конструктивной и функциональной модернизации. Особое значение приобретает использование новых конструктивных и диэлектрических материалов, внедрение распределённой резистивной нагрузки для формирования аperiодического импульсного отклика, разработка облегчённых и сетчатых конструкций, а также оптимизация методов согласования антенн с передающей и приёмной аппаратурой с учётом электрофизических свойств ледяной среды.

Целью данной работы является проведение системного сравнительного анализа классиче-

ских и перспективных конструкций антенн для автономных георадиолокационных исследований ледников Антарктиды с целью определения наиболее эффективных решений, обеспечивающих повышение точности, энергоэффективности и надёжности мониторинга ледникового покрова в экстремальных климатических условиях.

Задачи исследования:

- Проанализировать основные типы антенных конструкций по ключевым параметрам: глубина зондирования, временное и пространственное разрешение, полоса пропускания, устойчивость к климатическим воздействиям и энергопотребление;

- Оценить преимущества и недостатки каждой антенной архитектуры в контексте автономных георадиолокационных платформ для Антарктиды;

- Исследовать современные тренды развития антенных систем, включая использование метаматериалов, цифрового формирования луча и синтеза апертуры.

Научная и практическая значимость совершенствования антенных систем определяется необходимостью повышения точности и достоверности данных о состоянии ледников при одновременном снижении энергозатрат автономных измерительных комплексов, что обуславливает необходимость комплексного подхода к выбору типа антенны, её конструкции, материалов и режимов эксплуатации в экстремальных условиях Антарктиды.

1. Обзор антенных решений для радиолокационного зондирования льда

Радиолокационное зондирование ледниковых покровов Антарктиды развивается с середины XX века и остаётся ключевым инструментом гляциологического мониторинга. За это время сформировался широкий спектр антенных решений, адаптированных к экстремальным полярным условиям: от полуволновых диполей до направленных и многоканальных конфигураций. Выбор конкретной конфигурации определяется целевой глубиной зондирования [4, с. 8], пространственно-временным разрешением и ограничениями по массе, габаритам и интеграции на платформы.

1.1 Полуволновые диполи

Классический полуволновый диполь и его модификации широко применяются в ледовых радарх благодаря простоте конструкции и высокой эффективности излучения на низких частотах.

Для глубинного зондирования используют диполи длиной в несколько метров, что соизмеримо с половиной длины волны на выбранной частоте. В задачах исследования наиболее мощных частей антарктического ледникового щита применяются диапазоны порядка 3–30 МГц (HF) и около 60 МГц (нижний VHF), обеспечивающие достижение ложа при приемлемом уровне затухания в толще льда.

Несмотря на простоту и высокую энергетическую эффективность, классический резонансный диполь обладает рядом ограничений. Он характеризуется относительно узкой рабочей полосой и длительным затуханием собственных колебаний после излучённого импульса, что приводит к перекрытию откликов от близкорасположенных границ и снижает разрешающую способность при изучении внутренней структуры льда.

Современные исследования показывают, что повышение широкополосности достигается за счёт введения распределённой резистивной нагрузки и применения облегчённых проводящих/сетчатых конструкций диполя, в том числе для полярных автономных платформ. Такие решения позволяют расширить рабочий диапазон частот и сформировать более короткий апериодический импульс при сохранении достаточной эффективности излучения [5, с. 2172-2173].

В антарктических условиях диполи, как правило, размещаются на поверхности снега или частично погружаются в него, формируя преимущественно горизонтальную поляризацию; при этом распределение излучения и доля мощности, уходящей в лёд, существенно зависят от границы «воздух–лёд» и учитываются при интерпретации радиолокационных данных.

Тем не менее, благодаря сочетанию глубокой проникающей способности, простоте конструкции и надёжности, полуволновые диполи и их резистивно нагруженные модификации остаются базовой антенной конфигурацией в системах радиолокационного зондирования льда и служат отправной точкой для разработки более сложных широкополосных антенных решений.

1.2 V-образные диполи

V-образный диполь представляет собой модификацию классического полуволнового диполя, у которого плечи разведены под углом и образуют форму «V». Такая геометрия приводит к перераспределению излучаемого поля и повышению доли энергии, направленной в сектор между плечами антенны, что делает V-диполи востребованными в бортовых георадарах, ориентированных на зондирование подстилающей поверхности. В авиационных системах антенну, как правило, подвешивают под крылом или фюзеляжем летательного аппарата с ориентированием вершины «V» в сторону поверхности льда. При этом используются частоты порядка нескольких десятков мегагерц (HF–нижний VHF), обеспечивающие компромисс между глубиной проникновения и вертикальным

разрешением [6, с. 215–218].

С развитием технологий V-диполи продолжают активно совершенствоваться. Современные конструкции с резистивной нагрузкой исследуются как потенциальные ультраширокополосные излучатели. Показано, что резистивно-нагруженный V-образный диполь способен эффективно подавлять запаздывающие отражения сигнала и обеспечивать сглаженную АЧХ [7, с. 182218-182219] для повышения временного разрешения и надёжности интерпретации отражений от сложных структур льда.

К основным ограничениям таких антенн относятся требования к жёсткости и аэродинамической устойчивости подвески, а также чувствительность характеристик к высоте подвеса над поверхностью. Чрезмерно большое расстояние усиливает влияние отражения на границе сред, тогда как слишком малое расстояние приводит к возрастанию роли поверхностных волн и искажению диаграммы направленности [6, с. 223-224].

1.3 Петлевые и рамочные антенны

Рамочные, петлевые антенны представляют собой проводящие замкнутые контуры различной формы (круглой, прямоугольной, квадратной и т.д.), по которым протекает переменный ток. В радиогляциологии они используются существенно реже, чем линейные диполи, однако в ряде задач обладают конструктивными преимуществами. Жёсткая механическая конструкция и стабильность геометрии делает такие антенны перспективными для стационарных и длительно функционирующих измерительных комплексов, где требуется сохранение калибровочных характеристик и устойчивость к деформациям и обледенению [8, с. 5–7].

Поляризационные свойства рамочных антенн определяются ориентацией плоскости контура. Горизонтально ориентированная петля на поверхности снега формирует вертикальную магнитную компоненту поля, что эквивалентно горизонтально поляризованному электрическому полю, направленному в ледяную толщу. По поляризационным характеристикам такая конфигурация близка к горизонтальному диполю, но может быть предпочтительной в условиях, где критичны механическая жёсткость, компактный монтаж и защита от погодных воздействий.

В современных автономных радиолокационных системах для мониторинга толщины и деформации льда используются компактные широкополосные антенны рамочного/щелевого типа, работающие в диапазоне 200–400 МГц и обеспечивающие устойчивые характеристики в течение длительной работы на антарктических ледовых шельфах. Такие системы в сочетании с фазочувствительной обработкой демонстрируют миллиметрово-сантиметровую точность отслеживания изменений толщины и базального таяния при автономной работе в полевых условиях [9, с. 3–5].

Диаграмма направленности одиночной рамочной антенны, расположенной на поверхности льда, характеризуется сравнительно широкой формой и по структуре близка к диаграмме диполя: излучение распространяется как вглубь льда, так и в воздушное полупространство, а коэффициент усиления составляет порядка единиц дБи. Основным ограничением рамочных антенн остаётся снижение эффективности излучения на низких частотах.

1.4 Широкополосные антенны типа bow-tie

Широкополосные диполи типа bow-tie представляют собой плоскую модификацию линейного диполя, у которой плечи выполнены в виде расходящихся треугольных проводящих пластин. Такая геометрия сглаживает частотную зависимость входного импеданса и формирует несколько близко расположенных резонансов, что позволяет реализовать ультраширокополосный режим при относительно компактных габаритах по сравнению с длиной волны. Антенны данного класса широко используются в георадарных системах, ориентированных на высокое временное разрешение при зондировании поверхностных и приповерхностных слоёв грунта, снега и верхней части ледяного покрова.

Современные разработки показывают, что расширение полосы рабочих частот и увеличение направленного коэффициента усиления достигаются за счёт введения резистивной нагрузки, оптимизации формы плеч и применения отражающих/метаматериальных надстроек [10, с. 86-91]. В диапазоне сотен мегагерц, характерном для подповерхностного и ледового зондирования, эти подходы часто реализуются в виде экранированных bow-tie-конструкций с внутренними поглотителями, что позволяет снижать излучение в верхнее полупространство антенны при регистрации слабых отражений от глубоких и мало-контрастных границ [11, с. 1-5].

К основным преимуществам антенн типа bow-tie относятся простота конструкции, возможность реализации ультраширокой рабочей полосы при меньших габаритах по сравнению с проволочными диполями. Вместе с тем указанные достоинства сопровождаются рядом существенных ограничений.

1.5 Направленные антенны (логопериодические, Yagi-Uda, рупорные).

К направленным антенным конфигурациям, используемым в георадиолокационных системах, относятся логопериодические дипольные решётки, антенны типа Yagi-Uda и рупорные излучатели. Их применение целесообразно в случаях, когда требуется увеличение энергетического потенциала и дальности зондирования за счёт повышения коэффициента усиления и формирования суженной диаграммы направленности по сравнению с простыми дипольными или рамочными антеннами.

Логопериодические дипольные антенны представляют собой широкополосные направленные структуры, в которых набор излучающих элементов с различной длиной и шагом вдоль несущей стрелы обеспечивает близкую к постоянной диаграмму направленности и импеданс в широком диапазоне частот. Для диапазонов VHF, используемых при глубинном зондировании ледников (частоты порядка 150–250 МГц), одиночные элементы LPDA обеспечивают коэффициент усиления порядка 8–10 дБи, а их объединение в линейные или двумерные решётки позволяет существенно увеличить эффективную апертуру [12, с. 1881–1883].

Рупорные антенны используются преимущественно в радиолокационных альтиметрических системах, эксплуатируемых на борту самолётов и спутников. Металлические рупоры на частотах Ku-диапазона (около 13,6 ГГц) формируют узкую диаграмму направленности и высокий коэффициент усиления, что критично для высокоточной оценки высоты поверхности ледников и морского льда из космоса [13, с. 1-2]. Однако из-за сильного затухания радиоволн в ледяной среде на частотах порядка десятков гигагерц рупорные антенны практически не используются для глубокого подповерхностного зондирования ледниковой толщины [13, с. 6-7].

Антенны типа Yagi-Uda представляют собой узкополосные направленные системы, состоящие из активного вибратора, рефлектора и набора директоров. Они обеспечивают усиление, сопоставимое с одиночными логопериодическими элементами, при меньшей массе и относительной простоте конструкции, но обладают выраженной узкополосностью, что делает их пригодными преимущественно для систем с фиксированной или слабо перестраиваемой рабочей частотой [14, с. 384]. В георадарных и родственных криосферных применениях такие антенны рассматриваются как потенциальный вариант для компактных направленных модулей, однако широкополосные требования современных ледорадаров чаще удовлетворяются логопериодическими и другими широкополосными решениями.

Использование крупногабаритных направленных антенн и антенных решёток на подвижных наземных и воздушных платформах ограничивается механическими и аэродинамическими факторами (масса, парусность и требования к креплению).

1.6 Перспективные антенные конфигурации и решения

Переход от одиночных излучателей к фазированным антенным решёткам и многоканальным системам типа MIMO является ключевым направлением развития радиогляциологических комплексов. Использование массивов из дипольных, щелевых, Vivaldi- и других широкополосных элементов с индивидуальным управлением амплитудой и фазой позволяет реализовывать электрон-

ное сканирование диаграммы направленности, цифровое формирование луча и синтез апертуры, тем самым повышая пространственное разрешение и чувствительность при зондировании многокилометровой ледяной толщи. Современные системы проектируются как многоканальные или ММО-конфигурации с возможностью приёма в нескольких поляризациях и с многолучевой обработкой.

Наземные многоканальные VHF/UHF-радары, разработанные для зондирования Гренландского и Восточно-Антарктического ледниковых щитов, используют линейные и двумерные антенные решётки в диапазонах порядка 170–230, 180–340 и 600–900 МГц для многоугловых и многочастотных измерений. Такие системы, буксируемые гусеничными платформами, обеспечивают зондирование льда толщиной более 2–3 км и обеспечивают трёхмерную реконструкцию внутренней структуры ледников [15, с. 2070–2072, 16 с. 4841–4842].

На концептуальном уровне ММО-решётки рассматриваются в качестве базиса для перспективных воздушных и орбитальных систем

глубинного радиолокационного зондирования ледниковых щитов, однако специализированные космические радары низкочастотного диапазона пока находятся на стадии проектных исследований. В целом развитие фазированных и многоканальных антенных систем характеризуется переходом от простых линейных массивов к адаптивным ММО-конфигурациям с цифровой апертурой, что существенно расширяет возможности радиогляциологической томографии при одновременном росте требований к сложности антенной подсистемы и объёму вычислительной обработки.

Сравнительный анализ и результаты

На основе проведенного сравнительного анализа конструкций антенн для автономных георадиолокационных исследований ледников Антарктиды были выявлены их ключевые характеристики, которые позволили определить наиболее эффективные подходы для подповерхностного зондирования снежно-ледового покрова. Результаты сравнения представлены ниже (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение характеристик антенных конструкций (составлено авторами).

Тип антенной конструкции	Диапазон частот/коэф. усиления	Хар-ки направленности	Преимущества	Ограничения	Примечания
Полуволновый диполь	HF –нижний VHF (3–30 МГц и 60 МГц); КУ 2 дБи.	Широкая ДН, близка к дипольной; излучение уходит и в лёд, и в воздух при укладке на поверхности.	Простота и надёжность конструкции; высокая эффективность излучения на низких частотах; максимальная глубина.	Узкая полоса пропускания; длительное затухание после импульса; большие габариты на низких частотах.	Базовое решение для глубинного ледорадара; оптимально при приоритете глубины над разрешением.
V-образный диполь	HF–нижний VHF (десятки МГц); КУ выше линейного диполя, за счёт концентрации излучения в секторе «V».	Основная доля энергии направлена преимущественно вниз в секторе «V»; ДН чувствительна к высоте подвеса.	Более направленное излучение на подстилающую поверхность; пригодны для авиа-/БПЛА размещения; в резистивно-нагруженных версиях — более «чистый» импульс.	Требуют жёсткого, аэродинамически устойчивого подвеса; характеристики ДН сильно зависят от высоты над льдом	Бортовые ледорадары (самолёт/БПЛА на контролируемой высоте); компромисс между глубиной проникновения и разрешением по толщине

Рамочная/петлевая	VHF/UHF 200–400 МГц; КУ порядка 1–3 дБи	Широкая ДН; близка к дипольной (двунаправленная)	Механическая прочность и стабильность; устойчивость к деформации/обледенению; удобный монтаж, компактность.	Снижение эффективности излучения на низких частотах; ограниченное применение по глубине	Длительный мониторинг (стационарные измерения), когда важны стабильность и долговечность антенны
Bow-tie (плоский широкополосный диполь)	Сотни МГц; КУ 0–3 дБи; (выше экранирования/надстройками)	Без экранирования ДН близка к дипольной; с экранированием - направленное излучение в лёд.	Простая печатная реализация, ультраширокая полоса пропускания; высокое временное разрешение	Без экранирования часть энергии уходит в воздух; на нижних частотах падает эффективность; глубина ограничена затуханием ВЧ	Наземные георадары для приповерхностная стратиграфии (снег/фирн), высокое разрешение, поиски неоднородностей в верхней части покрова
Направленные антенны (логопериодические, Yagi, рупорные)	ЛПДА - VHF диапазон (150 – 250 МГц, КУ 8–10 дБи); Yagi – узкополосный диапазон около фиксированной частоты, КУ 8 дБи; рупор – СВЧ (Ku-диапазон -13 ГГц), высокий КУ порядка 20-23 дБи	Узконаправленные ДН по сравнению с диполями; концентрируют энергию в направлении зондирования, увеличивая дальность действия радара; рупорные антенны формируют особенно узкий луч (обеспечивает высокую точность)	Высокий КУ повышает энергетический потенциал радара (большая глубина/дальность зондирования); логопериодические (LPDA) антенны – широкополосные при устойчивой направленности (близкая к постоянной ДН в широком диапазоне); антенны Yagi-Uda проще и легче LPDA при сопоставимом усилении; рупорные обеспечивают крайне высокий КУ, пригодный для высокоточных альтиметрических измерений поверхности	Большие габариты и масса (особенно на низких частотах) затрудняют использование направленных антенн на движущихся платформах (парусность, требования к креплению); антенны Yagi узкополосны (эффективны только на фиксированных частотах); рупоры на высоких частотах непригодны для глубокого зондирования льда из-за сильного радиоволнового затухания	Логопериодические антенны и их решётки применяются для увеличения глубины зондирования на наземных и воздушных платформах. Антенны Yagi рассматриваются для компактных модулей, однако современным требованиям широкой полосы чаще удовлетворяют LPDA и другие ШП решения. Рупорные излучатели используются в спутниковых и авиационных радарх-альтиметрах.

Многоканальные и МИМО-конфигурации	VHF/UHFдиапазоны (170–230, 180–340, 600–900 МГц); эквивалентный КУ растёт за счёт фазированного суммирования сигналов	Электронное управление ДН, многолучевость, синтез апертуры (3D)	Высокое пространственное/временное разрешение; повышение помехоустойчивости и информативности (томография/3D)	Сложность аппаратуры и синхронизации каналов; рост энергопотребления и объёма данных; требования к вычислительной обработке и калибровке в полевых условиях	3D-картирование структуры льда, повышенная информативность, буксируемые/многоканальные комплексы; перспективно для автономных платформ
------------------------------------	---	---	---	---	--

Анализ показал, что представленные типы антенн охватывают весь спектр применяемых в радиогляциологии решений - от низкочастотных диполей, обеспечивающих максимальную глубину зондирования, до многоканальных фазированных и МИМО-архитектур, позволяющих формировать адаптивные диаграммы направленности и трёхмерные изображения внутренней структуры льда. Каждая конфигурация имеет свою область оптимального применения: классические диполи и рамочные антенны обеспечивают стабильность и простоту эксплуатации, тогда как широкополосные bow-tie, LPDA и Vivaldi-системы - высокое временное разрешение и импульсную «чистоту».

Развитие МИМО-технологий открывает возможности интеграции с методами синтезированной апертуры и цифрового формирования луча, формируя основу для нового поколения радиогляциологических комплексов.

Заключение

Проведённый обзор и сравнительный анализ показали, что развитие антенных систем для радиогляциологического зондирования льда прошло путь от простых полуволновых диполей к широкополосным и направленным конструкциям, а затем к многоканальным фазированным и МИМО-решёткам. Каждое из рассмотренных решений реализует свой баланс между глубиной зондирования, временно-пространственным разрешением, энергетической эффективностью и эксплуатационной надёжностью в суровых ус-

ловиях Антарктиды.

Опираясь на проведенный анализ выделен ряд перспективных направлений развития антенн для георадаров подлёдного зондирования в условиях Антарктиды:

1. Исследование возможности использования антенн с синтезированной апертурой в георадарах подлёдного зондирования ледников, аналогично радиолокаторам дистанционного зондирования, что позволит уточнить модели рельефа и внутренней структуры льда.

2. Разработка и апробация широкополосных антенн Вивальди с высоким коэффициентом направленности в сочетании с облегчённой конструкцией при сохранении энергетической эффективности.

3. Поиск и внедрение альтернативных радиопрозрачных покрытий и материалов, обеспечивающих защиту при экстремально низких температурах без ухудшения направленных и энергетических характеристик антенны аналогично радиопрозрачному лаку для СВЧ-устройств.

4. Разработка методов компенсации и подавления интерференции в многоканальных георадарах, где когерентное суммирование сигналов приводит к взаимным помехам и снижению точности фазовых измерений.

5. Применение цифрового моделирования и алгоритмов машинного обучения для оптимизации антенных решёток и метаповерхностных структур, что позволит адаптивно управлять диаграммой направленности и снижать паразитные моды в реальном времени.

Список литературы:

- [1] An J., Huang S., Chen X., Xu T., Bai Z. Research progress in geophysical exploration of the Antarctic ice sheet // *Earthquake Research Advances*. — 2023. — Т. 3(3). — С. 100203.
- [2] Большунов А. В., Игнатъев С. А., Горелик Г. Д., Крикун Н. С., Васильев Д. А., Ракитин И. В., Шадрин В. С. Комплексные исследования снежно-фирновой толщи в районе российской антарктической станции Восток // *Записки Горного института*. — 2025. — Т. 273. — С. 52-64.
- [3] Guo J., Li L., Liu J., Fu L., Tang X., Wang Y., Sun Y. Ground-penetrating radar survey of subsurface features at the margin of ice sheet, East Antarctica // *Journal of Applied Geophysics*. — 2022. — Т. 206. — С. 104816.
- [4] Schlegel R., Kulesa B., Murray T., Eisen O. Towards a common terminology in radioglaciology. // *Annals of Glaciology*. — 2022. — Т. 63(87-89). — С. 8-12.
- [5] Hawkins J. D., Lok L. B., Brennan P. V., Nicholls K. W. HF wire-mesh dipole antennas for broadband

- ice-penetrating radar // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. — 2020. — T. 19(12). — C. 2172-2176.
- [6] Suganya J., Baskaradas J. A., Sciacca U., Zirizzotti A. Simplified Analytical Approach for an Airborne Bent Wire Ground Penetrating RADAR Antenna System // *Radioengineering*. — 2021. — T. 30(1). — C. 215-226.
- [7] Yang G., Ye S., Ji Y., Zhang X., Fang G. Radiation enhancement of an ultrawideband unidirectional folded bowtie antenna for GPR applications // *IEEE Access*. — 2020. — T. 8. — C. 182218-182228.
- [8] Raza A., Lin W., Ishfaq M. K., Inam M., Masud F., Dahri M. H. A Wideband Reflector-Backed Antenna for Applications in GPR // *International Journal of Antennas and Propagation*. — 2021. — T. 2021(1). — C. 3531019.
- [9] Zeising O., Humbert A. Indication of high basal melting at EastGRIP drill site on the Northeast Greenland Ice Stream // *The Cryosphere Discussions*. — 2021. — T. 2021. — C. 1-15.
- [10] Alali O., Badawieh A., Alhariri M. Bandwidth Improvement of Bowtie Antenna for GPR Applications Using Antipodal Technique, Corner Bending, and Triangular Slot Modifications // *Progress in Electromagnetics Research M*. — 2021. — T. 106. — C. 83-92.
- [11] Barkataki N., Borah P., Sarma U., Tiru B. Design of a 400 MHz cavity backed CPW fed bowtie antenna for GPR applications // *2021 International Conference on Industrial Electronics Research and Applications (ICIARA)*. — IEEE, 2021. — C. 1-6.
- [12] Lilien D. A., Steinhage D., Taylor D., Parrenin F., Ritz C., Mulvaney R., Eisen O. Brief communication: New radar constraints support presence of ice older than 1.5 Myr at Little Dome C // *The Cryosphere*. — 2021. — T. 15(4). — C. 1881-1888.
- [13] Jutila A., Haas C. C and K band microwave penetration into snow on sea ice studied with off-the-shelf tank radars // *Annals of Glaciology*. — 2025. — T. 65, e5. — C. 1-11.
- [14] Haque M. A., Zakariya M. A., Al-Bawri S. S., Yusoff Z., Islam M., Saha D., Paul L. C. Quasi-Yagi antenna design for LTE applications and prediction of gain and directivity using machine learning approaches // *Alexandria Engineering Journal*. — 2023. — T. 80. — C. 383-396.
- [15] Yan J. B., Li L., Nunn J. A., Dahl-Jensen D., O'Neill C., Taylor R. A., Eisen O. Multiangle, frequency, and polarization radar measurement of ice sheets // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. — 2020. — T. 13. — C. 2070-2080.
- [16] Rodriguez-Morales F., Braaten D., Mai H. T., Paden J., Gogineni P., Yan J. B., Steinhage D. A mobile, multichannel, UWB radar for potential ice core drill site identification in east Antarctica: Development and first results // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. — 2020. — T. 13. — C. 4836-4847.

References:

- [1] An J., Huang S., Chen X., Xu T., Bai Z. Research progress in geophysical exploration of the Antarctic ice sheet // *Earthquake Research Advances*. — 2023. — T. 3(3). — 100203.
- [2] Bolshunov A.V., Ignatiev S.A., Gorelik G.D., Krikun N.S., Vasiliev D.A., Rakitin I.V., Shadrin V.S. Comprehensive studies of snow-firn strata in the area of the Russian Antarctic Vostok station // *Notes of the Mining Institute*. — 2025. — T. 273. — P. 52-64.
- [3] Guo J., Li L., Liu J., Fu L., Tang X., Wang Y., Sun Y. Ground-penetrating radar survey of subsurface features at the margin of ice sheet, East Antarctica // *Journal of Applied Geophysics*. — 2022. — T. 206. — 104816.
- [4] Schlegel R., Kulesa B., Murray T., Eisen O. Towards a common terminology in radioglaciology. // *Annals of Glaciology*. — 2022. — T. 63(87-89). — C. 8-12.
- [5] Hawkins J. D., Lok L. B., Brennan P. V., Nicholls K. W. HF wire-mesh dipole antennas for broadband ice-penetrating radar // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. — 2020. — T. 19(12). — C. 2172-2176.
- [6] Suganya J., Baskaradas J. A., Sciacca U., Zirizzotti A. Simplified Analytical Approach for an Airborne Bent Wire Ground Penetrating RADAR Antenna System // *Radioengineering*. — 2021. — T. 30(1). — C. 215-226.
- [7] Yang G., Ye S., Ji Y., Zhang X., Fang G. Radiation enhancement of an ultrawideband unidirectional folded bowtie antenna for GPR applications // *IEEE Access*. — 2020. — T. 8. — C. 182218-182228.
- [8] Raza A., Lin W., Ishfaq M. K., Inam M., Masud F., Dahri M. H. A Wideband Reflector-Backed Antenna for Applications in GPR // *International Journal of Antennas and Propagation*. — 2021. — T. 2021(1). — C. 3531019.
- [9] Zeising O., Humbert A. Indication of high basal melting at EastGRIP drill site on the Northeast Greenland Ice Stream // *The Cryosphere Discussions*. — 2021. — T. 2021. — C. 1-15.
- [10] Alali O., Badawieh A., Alhariri M. Bandwidth Improvement of Bowtie Antenna for GPR Applications Using Antipodal Technique, Corner Bending, and Triangular Slot Modifications // *Progress in Electromagnetics Research M*. — 2021. — T. 106. — C. 83-92.

Research M. — 2021. — T. 106. — C. 83-92.

[11] Barkataki N., Borah P., Sarma U., Tiru B. Design of a 400 MHz cavity backed CPW fed bow-tie antenna for GPR applications // 2021 International Conference on Industrial Electronics Research and Applications (ICIERA). – IEEE, 2021. – C. 1-6.

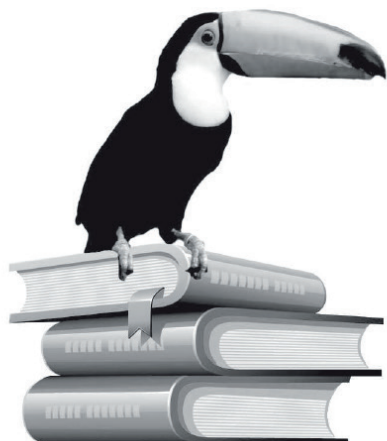
[12] Lilien D. A., Steinhage D., Taylor D., Parrenin F., Ritz C., Mulvaney R., Eisen O. Brief communication: New radar constraints support presence of ice older than 1.5 Myr at Little Dome C // The Cryosphere. — 2021. — T. 15(4). — C. 1881-1888.

[13] Jutila A., Haas C. C and K band microwave penetration into snow on sea ice studied with off-the-shelf tank radars // Annals of Glaciology. — 2025. — T. 65, e5. — C. 1-11.

[14] Haque M. A., Zakariya M. A., Al-Bawri S. S., Yusoff Z., Islam M., Saha D., Paul L. C. Quasi-Yagi antenna design for LTE applications and prediction of gain and directivity using machine learning approaches // Alexandria Engineering Journal. — 2023. — T. 80. — C. 383-396.

[15] Yan J. B., Li L., Nunn J. A., Dahl-Jensen D., O'Neill C., Taylor R. A., Eisen O. Multiangle, frequency, and polarization radar measurement of ice sheets // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2020. — T. 13. — C. 2070-2080.

[16] Rodriguez-Morales F., Braaten D., Mai H. T., Paden J., Gogineni P., Yan J. B., Steinhage D. A mobile, multichannel, UWB radar for potential ice core drill site identification in east Antarctica: Development and first results // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. — 2020. — T. 13. — C. 4836-4847.



ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-83-89

КОРЯЧКО Марина Валерьевна,
кандидат физико-математических наук, доцент,
ФГАОУ ВО Московский политехнический университет,
e-mail: scvor@list.ru

ВАРЛАМОВ Дмитрий Олегович,
научный сотрудник,
ФГАОУ ВО Московский политехнический университет,
e-mail: scvor@list.ru

БОГАТЕНКОВ Семен Алексеевич,
аспирант,
ФГАОУ ВО Московский политехнический университет,
e-mail: scvor@list.ru

ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК И ДЕГРАДАЦИИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ НАГРЕВЕ

Аннотация. Современная микроэлектроника характеризуется непрерывной тенденцией к миниатюризации и повышению плотности упаковки компонентов, что предъявляет повышенные требования к надежности межсоединений и контактов. Одной из ключевых проблем, ограничивающих долговечность электронных устройств, является деградация межсоединений и контактных площадок при воздействии электротепловых нагрузок. Наиболее ярко это проявляется при импульсном нагреве. Резкие изменения температуры приводят к возникновению механических напряжений, что в конечном итоге является причиной усталостного разрушения и отказа устройства. Целью работы является экспериментальное изучение динамики нагрева дорожки металлизации при прохождении через нее последовательности прямоугольных токовых. В работе использовались экспериментальные методы определения динамики температуры алюминиевой дорожки металлизации после прохождения через нее как одиночных, так и последовательностей прямоугольных токовых импульсов. Полученные результаты целесообразно применять для определения критических мощностей электрических импульсов для различных межсоединений, а также при построении экспресс-методик по диагностики систем металлизации и контактов полупроводниковых структур.

Ключевые слова: электротепловая деградация, электрические импульсы, системы металлизации.

Работа выполнена в рамках государственного задания вуза Министерства науки и высшего образования (проект № FZRR-2023-0009).

KORYACHKO Marina Valeryevna,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Moscow Polytechnic University

VARLAMOV Dmitry Olegovich,
Researcher,
Moscow Polytechnic University

BOGATENKOV Semyon Alekseevich,
Postgraduate Student,
Moscow Polytechnic University

ASSESSMENT OF THERMAL LOADS AND DEGRADATION OF MICROELECTRONIC INTERCONNECTS WITH UNSTEADY HEATING

Annotation. Modern microelectronics is characterized by a continuous trend towards miniaturization and increasing the density of component packaging, which places increased demands on the reliability of interconnects and contacts. One of the key problems limiting the durability of electronic devices is the degradation of interconnects and contact pads when exposed to electrical thermal loads. This is most pronounced during pulsed heating. Sudden temperature changes lead to mechanical stresses, which ultimately causes fatigue failure and device failure. The aim of the work is to experimentally study the dynamics of heating of a metallization track when a sequence of rectangular current flows through it. Experimental methods were used to determine the temperature dynamics of an aluminum metallization track after passing through it both single and sequences of rectangular current pulses. It is advisable to use the results obtained to determine the critical power of electrical pulses for various interconnects, as well as to build express diagnostic methods for metallization systems and contacts of semiconductor structures.

Key words: electrothermal degradation, electrical impulses, metallization systems.

Эволюция электронных устройств и усовершенствование технологии в части разработки высоко интегрированных интегральных схем привела к развитию таких направлений как искусственный интеллект [1-3], интеллектуальные мобильные устройства [4; 5], цифровой медицинский мониторинг [6; 7] и т.д. Эти технологические тенденции требуют более высоких рабочих плотностей тока и соответствующих тепловых нагрузок для обеспечения обработки и передачи данных с высокой пропускной способностью [8].

Для достижения высокой плотности интеграции внедряются технологии формирования полупроводниковых структур, такие как system-in-package (SiP - это технология, при которой различные электронные компоненты, такие как чипы, пассивные элементы, модули, интегрируются в один пакет), многослойное трехмерное формирование и т.д. Очевидно, что сложные технологические решения требуют специальные электрические соединения между цепями и элементами. От их стабильной работы зависит функционирование всего устройства. Дефектные электрические соединения будут способствовать ограничению миниатюризации и быстрому выходу устройства из строя [9-10]. Поэтому исследователи ищут новые материалы как для систем металлизации и контактов, так и для полупроводниковых подложек. Так, например, в [9], показано, что в отличие от кремниевых подложек, карбид кремния (SiC) удовлетворяет условиям для применения в высоковольтных и высокотемпературных полупроводниковых структурах благодаря своим электрическим и тепловым свойствам. Однако высокий значения модуля Юнга SiC и высокая стоимость производства подложек сдерживают его широкое применение в технологической практике [9]. В том числе поэтому кремний продолжает сохранять лидерство при изготовлении силовых полупроводниковых приборов и структур. Однако и на нем не все проблемы систем металлизации и омических контактов решены. К примеру, в работе [10] представлены результаты исследований ухудшения адгезионной прочности поверхности раздела тонкая металлическая пленка/подложка, подвергнутой термоциклированию. Известно [11], что традиционные методы ускоренных термоциклических испытаний, предполагающие

нагрев всей структуры в климатической камере, зачастую не в полной мере отражают реальные условия эксплуатации. Они не всегда могут воспроизвести условия локальных быстропротекающих процессов (перегрев может происходить за десятки микросекунд). Это обстоятельство инициирует поиск и разработку методов, позволяющих моделировать циклические термоудары в системах металлизации

Вот почему целью данной работы было исследование тепловых нагрузок и процессов деградации микроэлектронных межсоединений при нестационарном нагреве последовательностью токовых импульсов.

Проведение исследований проводилось по методике, изложенной [12]. Для пропускания серии прямоугольных токовых импульсов источник прямоугольных токовых импульсов амплитудой до 40 А и длительностью до 1 мс, осциллограф и оптический микроскоп. Длительность импульсов и скважность варьировались в диапазонах $t=50...500$ мкс и $S=2...10$ соответственно.

Эксперименты проводили на структурах, детально описанных в [13]. Тонкая металлическая пленка алюминия наносилась на полированную поверхность кремниевой пластины n-типа (легирована фосфором, удельное электрическое сопротивление $\rho=15$ Ом.см). Кристаллографическая ориентация Si-пластины соответствовала направлению (111) [13].

Тестовые структуры изготавливались методом оптической фотолитографии [13; 14] и представляли собой прямолинейные дорожки металлизации шириной 75 мкм, длиной – 4 мм и толщиной 2...5 мкм соответственно. При пропускании через пленочный проводник электрических импульсов методом вольтметра-амперметра регистрировалось падение напряжения с участка тестовой структуры $U(t)$. Изготовленная установка позволяла пропускать как одиночные импульсы (рис.1), так и их последовательность (рис.2). На рис.1 приведена фотография осциллограммы $U(t)$ в процессе прохождения токового импульса прямоугольной формы.

Ранее было показано, что такая форма осциллограммы свидетельствует об обратимом нагреве системы металлизации. Причем время охлаждения структуры превышает длительность

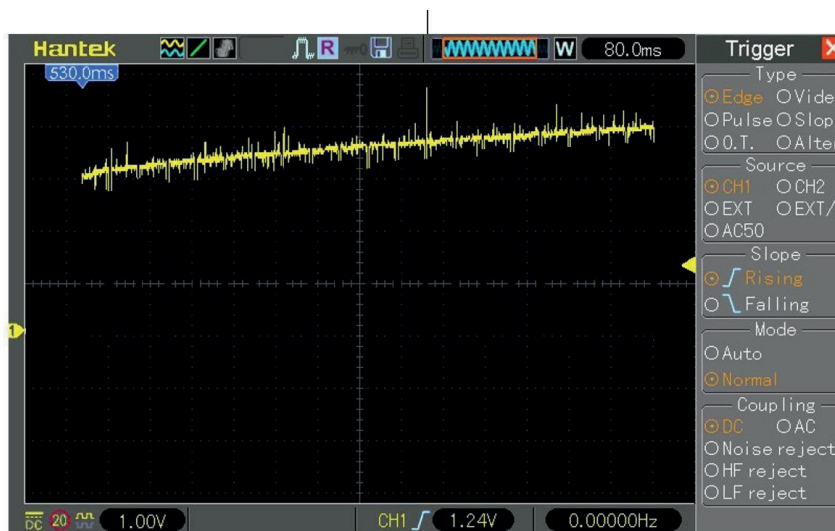
импульса ~ 1.5 т. При этом плотность тока в импульсе не должна превышать $j=5 \cdot 10^{10}$ А/м².

Пересчет осциллограмм $U(t)$ в динамику температуры осуществлялся по известной формуле:

$$U(t) = R_0(1 + \alpha(T(t) - T_0)) \quad (1)$$

Здесь α, R_0 – температурный коэффициент сопротивления и электрическое сопротивление тестовой структуры при комнатной температуре соответственно.

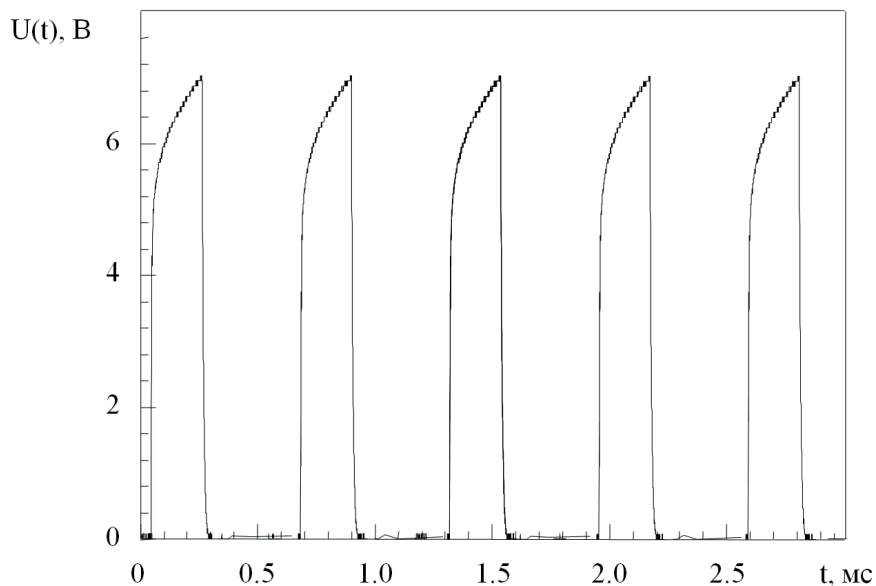
Рисунок 1. Фотография экрана осциллографа с осциллограммой включения, полученной после прохождения электрического импульса через тест-структуру.



Типичная осциллограмма последовательности импульсов приведена на рис.2. Очевидно, что при интервале времени между электрическими импульсами $t > t_0$, область полупроводника под дорожкой металлизации структура успевает охладиться. Поэтому вид $U(t)$ после каждого импульса практически не меняется (рис. 2). Увеличение амплитуды импульса тока или снижение скважности приводит к накоплению тепла в структуре, что

проявляется в изменении вида $U(t)$. Так, на рис.3 видно увеличение как максимального значения $U(t)$ при увеличении числа прошедших импульсов через структуру, так и изменение крутизны $U(t)$. Тепловая «нагрузка» на заключительном этапе ($\Delta t=2.0...3.0$ мс, рис.3) способствует развитию необратимых процессов. Это и есть начало электротепловой деградации (последний импульс, интервал $\Delta t=2.5...3.0$ мс, рис.3)

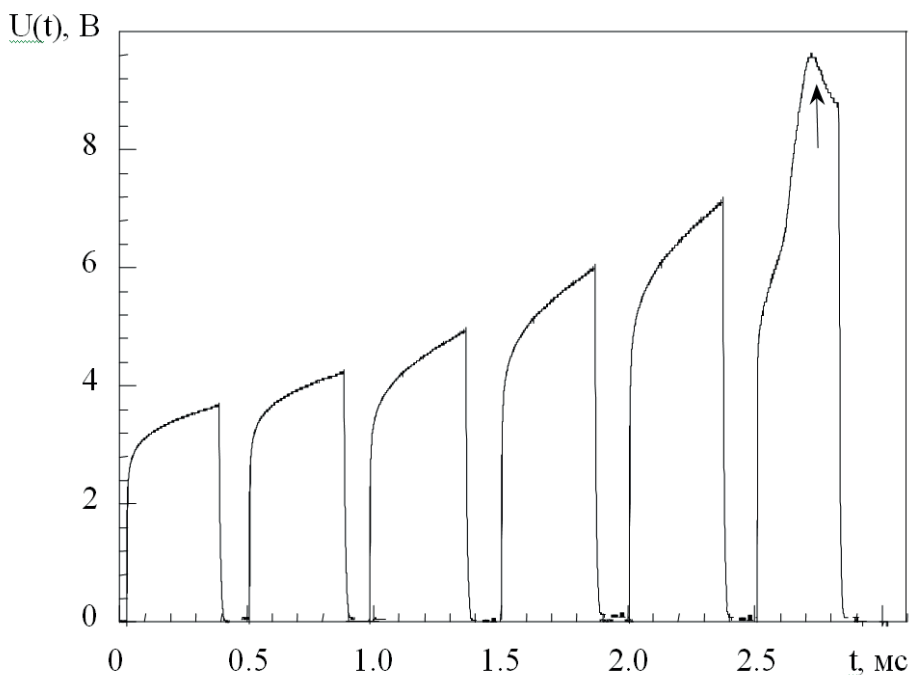
Рисунок 2. Осциллограмма включения, снятая при прохождении последовательности прямоугольных токовых импульсов амплитудой $j=4.5 \cdot 10^{10}$ А/м², длительностью $T_{oi} = 250$ мкс и скважностью $S=1.6$.



Наблюдаемый резкий всплеск потенциала $U(t)$ на осциллограммах (стрелка на рис.3) обусловлен накоплением тепла в области контакта и его нагреву до температур образования жидкой фазы. Изменение удельного сопротивления при фазовом переходе Al-металлизации и определяет скачек потенциала. Более того, в нашей системе Al-Si возможно формирование расплавленной прослойки на границе раздела. В случае системы алюминий – кремний имеет минимум на диаграмме фазового состояния. При этом процесс

контактного плавления может происходить при температурах $T_{кр}$ ниже температуры плавления контактирующих материалов (температура плавления эвтектики в системе Al-Si $T_{кр}=577^{\circ}C$). В наших экспериментальных условиях образующаяся зона расплава удерживается силами поверхностного натяжения. Если при этом толщина зоны контактного плавления растет пропорционально корню из времени $h_x \sim t^{1/2}$, то лимитирующей стадией такого процесса является диффузионный перенос атомов[14-16].

Рисунок 3 Динамика падения напряжения $U(t)$, снятого с участка тестовой структуры, в процессе прохождения последовательности 6-ти прямоугольных электрических импульсов: $j=4.5 \cdot 10^{10} A/m^2$, $T=0.4 мс$, скважность $S=1.25$



Для детального анализа результатов тепловой деградации после прохождения последовательности импульсов проводилась электронная микроскопия поверхности образцов с

помощью оптической и электронной микроскопии JSM-5910LVJEOL. Пример теплового разрушения структуры приведены на рис.4,5.

Рисунок 4. Микрофотография электротепловой деградации дорожки алюминиевой металлизации после прохождения электрического импульса $T=500 мкс$ и $j=4.5 \cdot 10^{10} A/m^2$.

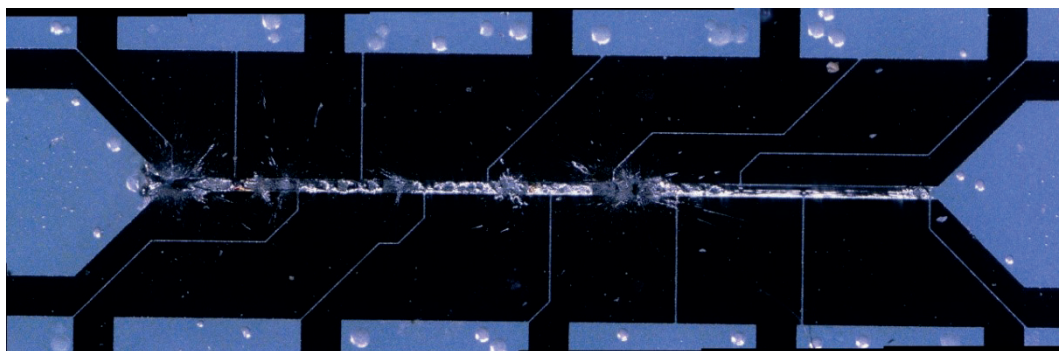
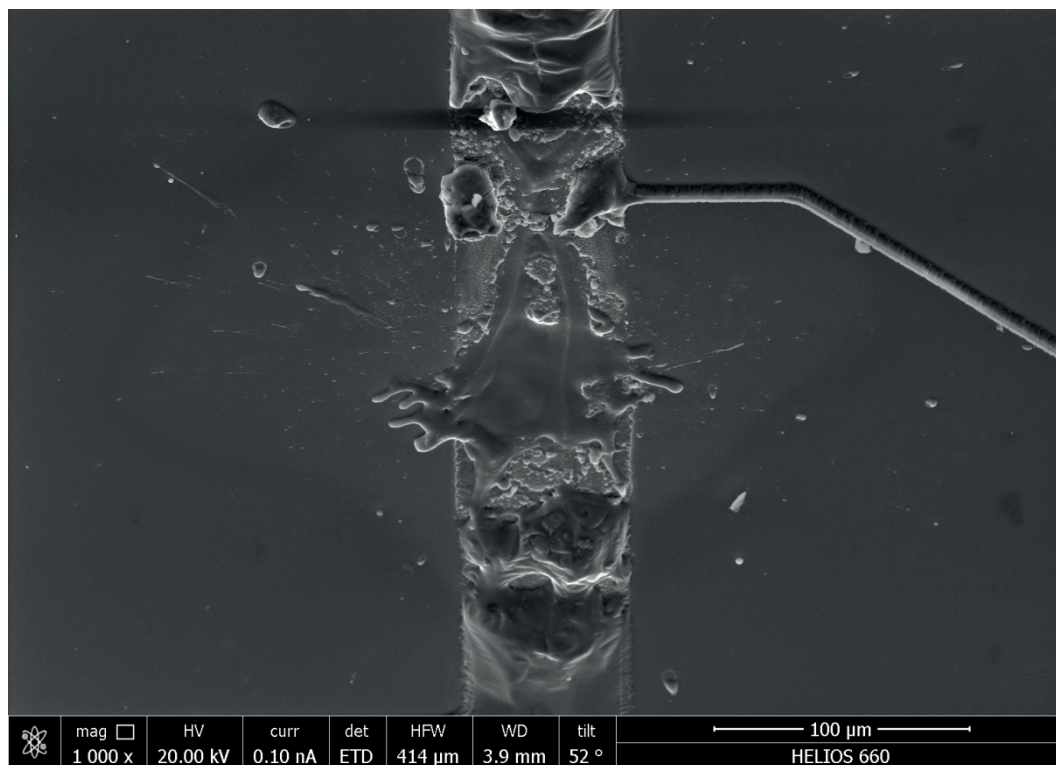


Рисунок 5. РЭМ фотография разрушения с параметрами, указанными на рис.4.



Таким образом, из экспериментального изучения воздействия последовательности электрических импульсов прямоугольной формы следует отметить, что основным механизмом разрушения структуры являются фазовые превращения с участием жидкой фазы. В случае воздействия оди-

ночным прямоугольным импульсом амплитудой $j=(2.5...8) \cdot 10^{10}$ А/м² и длительностью $T=85...500$ мкс основным механизмом является оплавление алюминия. Установлено также, что при прохождении последовательности импульсов характер деградационных процессов не меняется.

Список литературы:

- [1] Liu Y., Pan Y., Zhang H., Sun R., Zhu P A sandwich-structured anisotropic conductive film with robust interfacial reliability and conductivity for functional electrical interconnections // *Chemical Engineering Journal*. — 2025. — №. 505. — С. 159722.
- [2] Chen B., Zeng M., Khoo K.H., Das D., Fong X., Fukami S., Li S., Zhao W., Parkin S.S.P., Piramanayagam S.N., Lim S.T. Spintronic devices for high-density memory and neuromorphic computing – A review // *Materials Today*. — 2023. — №. 70. — С. 193-217.
- [3] Wang M., Li L., Zhang T. Hysteresis-free, fatigue-resistant and self-adhesive conductive hydrogel electronics towards multimodal wearable application // *Nano Energy*. — 2024. — №. 126. — С. 109586.
- [4] Liu X., Tang X., Hu Y., Huo X., Lv P., Shao H., Ma Q., Yu W., Xie Y., Dong X. Electrospun thermotropic anisotropic conductive Janus nanoribbons array membrane endowed with fluorescence and magnetism for multi-scenario applications // *Journal of Colloid and Interface Science*. — 2026. — №. 705. — С. 139490.
- [5] Li J., Duan Y., Cao H., Wang Y., Lu X., Xu Y., Sun R., Hu Y. Pressure-adaptive core-shell liquid metal microspheres for reliable flip-chip interconnects // *Chemical Engineering Journal*. — 2025. — №. 520. — С. 165694.
- [6] Choi J., Nam H., Park D., Cho W., Kwak M., Kim N., Kim I.-S., Jeong U. Room-Temperature, High-Resolution Soft Anisotropic Conductive Film for Electrical Interfacing in Stretchable Electronics // *Advanced Functional Materials*. — 2025. — №. 11. — С. 754-761.
- [7] Zhao K., Wang J., Deng W., Shen C., Zheng G., Ji Y., Dai K., Liu C., Shen C. Alternating aligned conductive stripes in polypropylene film with remarkable anisotropy for sensing application // *Sensors and Actuators B: Chemical*. — 2021. — №. 330. — С. 129370.
- [8] Wu Q., Nie M., Wang Q., Wu S., Zhang Y. Mechanically robust and functional anisotropic conductive polymer composites with alternating microlayers // *Chemical Engineering Journal*. — 2023. — №. 475. — С. 146337.
- [9] Sankari R., Kessler U., Rittner M., Kilian B., Maniar Y., Wittle O., Schneider-Ramelow M.

Microelectronics Reliability // Degradation mode analysis of Cu bond wires on Cu plated SiC power semiconductors stressed by active power cycling. — 2025. — №. 169. — C. 115715.

[10] Zhao D., Letz S., Yu Z., Schletz A., März M. Combined experimental and numerical approach for investigating the mechanical degradation of the interface between thin film metallization and Si-substrate after temperature cycling test // *Microelectronics Reliability. — 2020. — №. 114. — C. 113785.*

[11] Liu J., Wu S., Chen T., Liu T., Zhang S., He P. Thin-film metallization and micro-assembly driven comparative failure modes in advanced ceramic packaging under thermal cycling // *Journal of Materials Processing Technology. — 2025. — №. 346. — C. 119119.*

[12] Skvortsov A.A., Pshonkin D.E., Volodina O.V., Nikolaev V.K. Metallization system as a part of thermal memory // *Heliyon. —2023. —№ 9. —e15797.*

[13] Skvortsov A.A., Varlamov D.O., Nikolaev V.K., Volodina O.V., Skvortsova A.A. Shock-wave Processes in the Electric Explosion of Thin-Film Systems on Silicon // *Silicon. —2023. —Vol.15. —Iss.4. —P.1987–1992.*

[14] Skvortsov A.A., Orlov A.M., Zuev S.M. Diagnostics of degradation processes in the metal-semiconductor system // *Russian Microelectronics. — 2012. — №. 41. — C. 31-40.*

[15] Mu D., Cao L., Fu Y., Jia Y., Lin X., Jiang W. The microstructural evolution of eutectic Bi-Sn thin films prepared by magnetron co-sputtering during melting and solidification processes // *Materials Today Communications. — 2025. — №. 43. — C. 111520.*

[16] Han J., Li X., An T., Wang Y., Guo F. Failure analysis and simulation of IGBT under active and passive thermal cycling // *Microelectronics Reliability. —2025. —167. —C. 115638.*

References:

[1] Liu Y., Pan Y., Zhang H., Sun R., Zhu P. A sandwich-structured anisotropic conductive film with robust interfacial reliability and conductivity for functional electrical interconnections // *Chemical Engineering Journal. - 2025. - No. 505. - P. 159722.*

[2] Chen B., Zeng M., Khoo K.H., Das D., Fong X., Fukami S., Li S., Zhao W., Parkin S.S.P., Piramanayagam S.N., Lim S.T. Spintronic devices for high-density memory and neuromorphic computing – A review // *Materials Today. - 2023. - No. 70. - pp. 193-217.*

[3] Wang M., Li L., Zhang T. Hysteresis-free, fatigue-resistant and self-adhesive conductive hydrogel electronics towards multimodal wearable application // *Nano Energy. - 2024. - No. 126. - P. 109586.*

[4] Liu X., Tang X., Hu Y., Huo X., Lv P., Shao H., Ma Q., Yu W., Xie Y., Dong X. Electrospun thermotropic anisotropic conductive Janus nanoribbons array membrane endowed with fluorescence and magnetism for multi-scenario applications // *Journal of Colloid and Interface Science. - 2026. - No. 705. - P. 139490.*

[5] Li J., Duan Y., Cao H., Wang Y., Lu X., Xu Y., Sun R., Hu Y. Pressure-adaptive core-shell liquid metal microspheres for reliable flip-chip interconnects // *Chemical Engineering Journal. - 2025. - No. 520. - P. 165694.*

[6] Choi J., Nam H., Park D., Cho W., Kwak M., Kim N., Kim I.-S., Jeong U. Room-Temperature, High-Resolution Soft Anisotropic Conductive Film for Electrical Interfacing in Stretchable Electronics // *Advanced Functional Materials. - 2025. - No. 11. - pp. 754-761.*

[7] Zhao K., Wang J., Deng W., Shen C., Zheng G., Ji Y., Dai K., Liu C., Shen C. Alternating aligned conductive stripes in polypropylene film with remarkable anisotropy for sensing application // *Sensors and Actuators B: Chemical. - 2021. - No. 330. - P. 129370.*

[8] Wu Q., Nie M., Wang Q., Wu S., Zhang Y. Mechanically robust and functional anisotropic conductive polymer composites with alternating microlayers // *Chemical Engineering Journal. - 2023. - No. 475. - P. 146337.*

[9] Sankari R., Kessler U., Rittner M., Kilian B., Maniar Y., Wittle O., Schneider-Ramelow M. *Microelectronics Reliability // Degradation mode analysis of Cu bond wires on Cu plated SiC power semiconductors by active power cycling. - 2025. - No. 169. - P. 115715.*

[10] Zhao D., Letz S., Yu Z., Schletz A., März M. Combined experimental and numerical approach for investigating the mechanical degradation of the interface between thin film metallization and Si-substrate after temperature cycling test // *Microelectronics Reliability. - 2020. - No. 114. - P. 113785.*

[11] Liu J., Wu S., Chen T., Liu T., Zhang S., He P. Thin-film metallization and micro-assembly driven comparative failure modes in advanced ceramic packaging under thermal cycling // *Journal of Materials Processing Technology. - 2025. - No. 346. - P. 119119.*

[12] Skvortsov A.A., Pshonkin D.E., Volodina O.V., Nikolaev V.K. Metallization system as a part of thermal memory // *Heliyon. —2023. —№ 9. —e15797.*

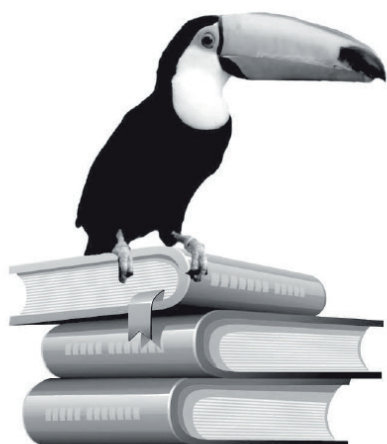
[13] Skvortsov A.A., Varlamov D.O., Nikolaev V.K., Volodina O.V., Skvortsova A.A. Shock-wave Processes in the Electrical Explosion of Thin-Film Systems on Silicon // *Silicon. —2023. —Vol.15. —Iss.4. —P.1987–1992.*

[14] Skvortsov A.A., Orlov A.M., Zuev S.M. Diagnostics of degradation processes in the metal-semiconductor system // *Russian Microelectronics. - 2012. - No. 41. - pp. 31-40.*

[15] Mu D., Cao L., Fu Y., Jia Y., Lin X., Jiang W. The microstructural evolution of eutectic Bi-Sn thin

films prepared by magnetron co-sputtering during melting and solidification processes // *Materials Today Communications*. - 2025. - No. 43. - P. 111520.

[16] Han J., Li X., An T., Wang Y., Guo F. Failure analysis and simulation of IGBT under active and passive thermal cycling // *Microelectronics Reliability*. —2025. -167. —С. 115638.



ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, Е-Library.

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.
DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-90-94

МУРАЛЬ Даниил Владимирович,
аспирант,
ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,
e-mail: mural.daniil.2001@yandex.ru

МАРТЫНЕНКО Татьяна Владимировна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
автоматизированных систем управления,
ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,
e-mail: mural.daniil.2001@yandex.ru

КВАНТОВО-ВДОХНОВЛЁННЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ ВЫСОКОРАЗМЕРНЫХ ДАННЫХ

Аннотация. В статье рассматриваются квантово-вдохновлённые алгоритмы (QI) для задач классификации высокоразмерных данных. Современные области применения — компьютерное зрение, анализ сигналов, обработка текстов и графовых структур — характеризуются большим числом признаков, что приводит к росту вычислительных затрат и проблемам масштабирования классических методов классификации. QI-алгоритмы используют математический аппарат квантовой механики — суперпозицию, интерференцию, тензорные представления состояний и вероятностные измерения — реализуя их на классическом оборудовании. Рассматриваются три основных направления развития: деквантованные алгоритмы и матричные аппроксимации, тензорные сети с пространственно-эволюционной блочной децимацией, а также квантово-вдохновлённые метаэвристики для глобальной оптимизации. Проводится анализ их вычислительной эффективности, включая влияние ранга и числа обусловленности входных матриц, а также преимущества в невыпуклых и многомерных пространствах признаков. Делается вывод, что QI-подходы обеспечивают существенное ускорение вычислений при работе с экстремально высокоразмерными данными и позволяют преодолевать ограничения классических детерминированных методов, включая локальные оптимумы и экспоненциальный рост пространства признаков. Результаты исследования показывают потенциал интеграции QI-алгоритмов в существующие системы машинного обучения и комбинаторной оптимизации для повышения эффективности, масштабируемости и надежности классификации.

Ключевые слова: Квантово-вдохновлённый алгоритм, высокоразмерные данные, классификация, тензорные сети, деквантование, матричные аппроксимации, метаэвристики, глобальная оптимизация, суперпозиция, интерференция.

MURAL Daniil Vladimirovich,
Postgraduate Student,
Donetsk National Technical University

MARTYNENKO Tatyana Vladimirovna,
PhD in Engineering, Associate Professor, Department of
Automated Control Systems,
Donetsk National Technical University

QUANTUM-INSPIRED ALGORITHMS FOR HIGH-DIMENSIONAL DATA CLASSIFICATION

Annotation. This paper explores quantum-inspired (QI) algorithms for high-dimensional data classification. Modern application domains such as computer vision, signal analysis, text processing, and graph structures are characterized by a large number of features, leading to increased computational costs and scalability challenges for classical classification methods. QI algorithms leverage the mathematical framework of quantum mechanics — superposition, interference, tensor representations of states, and probabilistic measurements — implemented on classical hardware. Three main directions are analyzed: dequantization and matrix approximations, tensor networks with spatially-evolutionary block decimation, and quantum-inspired metaheuristics for global optimization. The study evaluates computational efficiency, including the impact of

matrix rank and condition number, as well as advantages in non-convex and high-dimensional feature spaces. It is concluded that QI approaches provide significant acceleration in processing extremely high-dimensional data, overcoming limitations of classical deterministic methods, such as local optima and exponential growth of feature space. The results highlight the potential for integrating QI algorithms into existing machine learning and combinatorial optimization systems to enhance efficiency, scalability, and reliability of classification.

Key words: *quantum-inspired algorithm, high-dimensional data, classification, tensor networks, dequantization, matrix approximations, metaheuristics, global optimization, superposition, interference.*

Современные прикладные области, такие как компьютерное зрение, анализ сигналов и обработка графовых структур, характеризуются экстремально большим числом признаков, что порождает проблему «проклятия размерности». Основная сложность заключается в комбинаторном взрыве, при котором пространство решений растёт экспоненциально с каждым новым компонентом или ограничением системы. Традиционные детерминированные алгоритмы классификации при масштабировании на системы сверхвысокой размерности либо выдают субоптимальные решения, либо требуют вычислительных ресурсов, делающих их использование в реальном времени невозможным. Более того, классические тензорные методы сталкиваются с экспоненциальным ростом «запутанности» в динамических системах, что накладывает жесткие ограничения на глубину анализа данных.

Развитие квантовых вычислений обещает экспоненциальное ускорение, однако текущее состояние квантового оборудования препятствует их широкому внедрению. В этой связи критическую актуальность приобретают квантово-вдохновлённые алгоритмы, которые переносят математический аппарат квантовой механики — суперпозицию, интерференцию, туннелирование и проективные измерения — на классическую вычислительную инфраструктуру. Такие подходы позволяют эффективно перемещаться в невыпуклых и высокоразмерных ландшафтах оптимизации, достигая сублинейной или полилогарифмической сложности вычислений относительно размерности входных данных.

Несмотря на теоретический потенциал, практическая эффективность QI-алгоритмов часто ограничивается специфическими характеристиками данных, такими как ранг и число обусловленности матриц. Существует значительный разрыв между теоретическими доказательствами и практическими сценариями применения этих методов в задачах классификации.

Целью данной работы является систематизация и теоретическое исследование концептуальных основ квантово-вдохновлённых подходов для определения их потенциала и границ эффективного использования в задачах обработки и классификации данных большой размерности.

Для достижения цели сформированы следующие задачи:

1. Проанализировать фундаментальные механизмы адаптации квантового математического аппарата для реализации в рамках классических

вычислительных моделей.

2. Изучить структурные особенности квантово-вдохновлённых алгоритмов различных классов, направленные на минимизацию вычислительных затрат и оптимизацию представления признаков пространств.

3. Оценить характер масштабируемости рассматриваемых методов в сравнении с традиционными парадигмами классификации при увеличении сложности и размерности систем.

4. Выявить критические условия, определяющие целесообразность перехода к квантово-вдохновлённому инструментарию в зависимости от архитектурных свойств обрабатываемых данных.

1. Обзор квантово-вдохновлённых алгоритмов

Квантово-вдохновлённые алгоритмы представляют собой класс классических вычислительных методов, которые используют математический формализм и принципы квантовой механики — такие как суперпозиция, интерференция и туннелирование — для решения сложных задач на стандартном оборудовании [1]. Такие алгоритмы не требуют квантовых компьютеров, но позволяют эффективно работать с высокоразмерными данными при оптимизации, которые традиционно сложны для классических детерминированных подходов [2].

На основе современных исследований можно выделить три ключевых направления развития QI-алгоритмов:

1.1. Алгоритмы «деквантования» и матричные аппроксимации

Данное направление фокусируется на задачах линейной алгебры, таких как сингулярное разложение, обращение матриц и решение систем линейных уравнений — традиционно рассматриваются как одна из наиболее перспективных областей применения квантовых вычислений, в том числе в контексте машинного обучения, обеспечивая сублинейную сложность вычислений относительно размерности входных данных.

В основе алгоритмов лежит допущение, что матрица данных A имеет низкий ранг k или может быть эффективно аппроксимирована низкоранговым представлением. Это характерно для многих прикладных задач, включая рекомендательные системы и анализ высокоразмерных данных [3].

Вместо обработки всей матрицы используется вероятностный подход, при котором строки и столбцы выбираются пропорционально их нор-

мам Фробениуса. Для реализации такого сэмплирования за логарифмическое время требуется использование специализированных древовидных структур, данных [3].

Является фундаментом данного подхода. Алгоритм позволяет построить малую матрицу C размера $g \times c$ путём выборки ограниченного числа строк и столбцов из исходной матрицы A . Вычислительная экономия достигается за счет того, что сингулярное разложение выполняется для малой матрицы C , чьи размеры не зависят от исходных размерностей n и m , а определяются требуемой точностью и рангом [3].

Несмотря на теоретическое экспоненциальное ускорение относительно размерности, данные алгоритмы обладают значительной полиномиальной зависимостью от ранга, числа обусловленности и требуемой точности. Эффективность деквантованных алгоритмов проявляется только на задачах экстремально большой размерности при условии сохранения очень низкого ранга и малого числа обусловленности входных матриц. Для зашумленных данных или матриц полного ранга квантовые алгоритмы по-прежнему сохраняют преимущество

1.2. Тензорные сети и алгоритмы на основе блочной децимации

Тензорные сети, в частности матричные произведения состояний, представляют собой эффективный математический аппарат для компактного представления высокоразмерных данных и моделирования сложных корреляций между их элементами. В контексте классификации это позволяет описывать многомерные векторы признаков, избегая экспоненциального роста вычислительных затрат.

Центральным методом в этом направлении является пространственно-эволюционная блочная децимация. Алгоритм заимствует принципы «голографических» квантовых симуляций и переиспользования кубитов, адаптируя их для классических вычислений. Основная идея заключается в использовании причинно-следственной структуры «светового конуса», при которой обработка данных происходит не по всей системе сразу, а последовательно вдоль диагональных пространственно-временных траекторий [4].

Главной проблемой классических тензорных методов является быстрый рост запутанности, что требует экспоненциального увеличения размерности связей для сохранения точности. В алгоритме SEBD к локальным подсистемам применяются проективные измерения сразу после достижения ими целевого состояния. Это позволяет мгновенно «распутывать» измеренные участки, локализуя сложность внутри светового конуса и значительно снижая требования к вычислительным ресурсам [5].

Для преодоления проблем статистического шума, характерного для стохастических мето-

дов, используется оптимизация EM. В отличие от наивного сэмплирования битовых строк, EM-протокол вычисляет точные математические ожидания на основе полной тензорной формы промежуточных состояний непосредственно перед их проекцией. Это позволяет снизить дисперсию сэмплирования и достичь высокой точности при использовании на порядок меньшего количества выборов.

1.3. Квантово-вдохновлённые метаэвристики

Квантово-вдохновлённые метаэвристики представляют собой семейство классических алгоритмов глобальной оптимизации, которые заимствуют математический аппарат квантовой механики для повышения эффективности поиска в сложных пространствах решений. В отличие от традиционных детерминированных методов, данные подходы используют вероятностные структуры для навигации в высокоразмерных, выпуклых ландшафтах, что критически важно для задач машинного обучения и классификации.

Вместо использования классических битов, состояния решений представляются через кубиты, описываемые амплитудами вероятности. Это позволяет алгоритму одновременно представлять и оценивать суперпозицию множества потенциальных конфигураций признаков в рамках одной итерации [6].

Механизм интерференции используется для управления процессом поиска путём конструктивного усиления вероятностей нахождения в «перспективных» областях пространства решений и деструктивного подавления маловероятных или неоптимальных путей.

Математическая имитация туннельного эффекта позволяет алгоритму преодолевать высокие потенциальные барьеры между локальными оптимумами. Это свойство обеспечивает эффективный выход из ловушек локальных экстремумов, которые часто становятся препятствием для классических градиентных методов [7].

Таким образом, квантово-вдохновлённые метаэвристики позволяют перенести вычислительные преимущества квантовых систем на классическую инфраструктуру, обеспечивая надежный поиск оптимальных конфигураций в задачах классификации сверхвысокой размерности.

2. Анализ вычислительной эффективности и практических ограничений

Эффективность квантово-вдохновлённых алгоритмов в задачах классификации высокоразмерных данных определяется балансом между теоретическим ускорением и практическими затратами на выполнение процедур сэмплирования и аппроксимации.

2.1. Асимптотическое ускорение и масштабируемость

Основным преимуществом QI-алгоритмов является достижение сублинейной или полило-

гарифмической сложности ($\text{polylog}(n,m)$) относительно размерности входных данных, что позволяет обрабатывать массивы, недоступные для классических детерминированных методов. Это достигается за счёт перехода от обработки полных матриц к работе с их низкоранговыми аппроксимациями и вероятностному сэмплингованию из векторов, представленных через сингулярное разложение. При увеличении сложности инфраструктуры, например, в облачных вычислениях, такие алгоритмы демонстрируют благоприятные кривые масштабирования, потребляя значительно меньше памяти и ресурсов для эквивалентных объёмов задач по сравнению с традиционными подходами. Кроме того, стохастическая природа алгоритмов обеспечивает тривиальную параллелизуемость внешних циклов сэмплингования, что позволяет эффективно использовать ресурсы высокопроизводительных кластеров для сокращения реального времени вычислений [7].

2.2. Влияние ранга и числа обусловленности

Практическая производительность QI-алгоритмов критически зависит от структурных характеристик матрицы, данных — её ранга (k) и числа обусловленности (κ). Теоретический анализ показывает, что сложность таких алгоритмов для линейных систем может достигать $O(\kappa^{16} k^6 \|A\|F^6 / \epsilon^6)$, что подразумевает значительные накладные расходы при отклонении от идеальных условий низкого ранга. Экспериментальные данные подтверждают, что точность аппроксимации заметно деградирует при увеличении этих параметров, что делает QI-методы менее эффективными для разреженных матриц высокого ранга, которые типичны для многих практических датасетов. Таким образом, асимптотическое преимущество квантово-вдохновлённых методов реализуется только на задачах экстремально большой размерности, где линейное скалирование классических методов становится запретительным [8].

2.3. Преимущества в невыпуклых ландшафтах оптимизации

Квантово-вдохновлённые подходы демонстрируют превосходство при работе с невыпуклыми и многомерными ландшафтами оптимизации, характерными для классификации визуальных образов и сложных систем.

Квантовое туннелирование позволяет алгоритмам избегать «ловушек» локальных оптимумов, через которые классические градиентные методы пройти не могут.

Применение тензорных сетей и алгоритма SEBD позволяет подавлять рост «запутанности» в данных, что обеспечивает возможность моделирования динамики системы на более длительных интервалах при фиксированных вычислительных затратах [4].

Использование запутанных измерений позволяет снизить дисперсию сэмплингования, обеспечивая высокую точность классификации при

использовании на порядок меньшего количества статистических траекторий по сравнению с обычным сэмплингованием битовых строк.

В итоге, выбор QI-алгоритма оправдан в сценариях комбинаторного взрыва, где пространство решений растёт экспоненциально с каждым новым компонентом системы, а традиционные детерминированные алгоритмы выдают субоптимальные решения.

Заключение

В работе выполнен теоретический анализ квантово-вдохновлённых алгоритмов классификации высокоразмерных данных, ориентированный на оценку их вычислительных преимуществ и практических ограничений. Показано, что данные методы формируют эффективный промежуточный класс между классическими и квантовыми вычислениями, позволяя использовать элементы квантового формализма на существующей классической вычислительной инфраструктуре.

Для деквантованных алгоритмов и методов матричных аппроксимаций установлено, что их ключевым преимуществом является достижение сублинейной сложности по размерности входных данных при условии низкого ранга и малого числа обусловленности матриц. Вместе с тем выявлено, что рост этих параметров приводит к существенному увеличению вычислительных затрат, что ограничивает практическую применимость данного подхода для зашумлённых и полноранговых датасетов.

Анализ тензорных сетей и алгоритмов пространственно-эволюционной блочной децимации показал их высокую эффективность для представления и обработки высокоразмерных признаков пространств за счёт локализации вычислительной сложности и подавления роста корреляций. Данный подход особенно перспективен для задач классификации со сложной структурой зависимостей между признаками, однако требует дальнейших исследований в части автоматического контроля точности и устойчивости к статистическому шуму.

Квантово-вдохновлённые метаэвристики продемонстрировали наибольший потенциал при работе с невыпуклыми и комбинаторно сложными ландшафтами оптимизации. Использование механизмов суперпозиции, интерференции и туннелирования позволяет эффективно избегать локальных экстремумов, что делает данные алгоритмы перспективными для обучения классификаторов в условиях экспоненциального роста пространства решений.

В качестве направлений дальнейших исследований целесообразно выделить разработку гибридных квантово-вдохновлённых и классических алгоритмов классификации, формализацию критериев применимости QI-методов в зависимости от структуры данных, а также их интеграцию в задачи комбинаторной оптимизации и масштабируемые системы машинного обучения.

Список литературы:

- [1] Sakhamuri N. S. B. *Quantum-Inspired Optimization of Cloud Infrastructure for Reliability and Cost Efficiency // European Journal of Computer Science and Information Technology*. — 2025. — №. 40. — С. 163–186.
- [2] Sudharson K., Badi A. *A Comparative Analysis Of Quantum-based Approaches For Scalable And Efficient Data Mining In Cloud Environments // Quantum Information and Computation*. — 2023. — №. 9. — С. 783-813.
- [3] Arrazola J. M., Delgado A., Bardhan B. R., Lloyd S. *Quantum-inspired algorithms in practice // Quantum*. — 2020. — №. 4. — С. 307.
- [4] Foss-Feig M., Hayes D., Dreiling J. M., Figgatt C., Gaebler J. P., Moses S. A., Pino J. M., Potter A. C. *Holographic quantum algorithms for simulating correlated spin systems // Physical Review Research*. — 2021. — №. 3.
- [5] Xiao B., Kloss B., Stoudenmire E. M. *Investigating a Quantum-Inspired Method for Quantum Dynamics // arXiv*. — 2025 .
- [6] Yahia H. S., ZeebareeS. R. M., Sadeeq M. A. M., Salim N. O. M., *Comprehensive Survey for Cloud Computing Based Nature-Inspired Algorithms Optimization Scheduling // Asian Journal of Computer Science And Information Technology*. — 2021. — №. 8. — С. 1-16.
- [7] Biamonte J., Wittek P., Pancotti N., Rebentrost P., Wiebe N., Lloyd S. *Quantum machine learning // Nature*. — 2017. — №. 549. — С. 195–202.
- [8] Montiel O., Rubio Y., Olvera C., Rivera A. *Quantum-Inspired Acromyrmex Evolutionary Algorithm // Scientific Reports*. — 2019. — №. 9.

References:

- [1] Sakhamuri N. S. B. *Quantum-Inspired Optimization of Cloud Infrastructure for Reliability and Cost Efficiency // European Journal of Computer Science and Information Technology*. — 2025. — №. 40. — С. 163–186.
- [2] Sudharson K., Badi A. *A Comparative Analysis Of Quantum-based Approaches For Scalable And Efficient Data Mining In Cloud Environments // Quantum Information and Computation*. — 2023. — №. 9. — С. 783-813.
- [3] Arrazola J. M., Delgado A., Bardhan B. R., Lloyd S. *Quantum-inspired algorithms in practice // Quantum*. — 2020. — №. 4. — С. 307.
- [4] Foss-Feig M., Hayes D., Dreiling J. M., Figgatt C., Gaebler J. P., Moses S. A., Pino J. M., Potter A. C. *Holographic quantum algorithms for simulating correlated spin systems // Physical Review Research*. — 2021. — №. 3.
- [5] Xiao B., Kloss B., Stoudenmire E. M. *Investigating a Quantum-Inspired Method for Quantum Dynamics // arXiv*. — 2025 .
- [6] Yahia H. S., ZeebareeS. R. M., Sadeeq M. A. M., Salim N. O. M., *Comprehensive Survey for Cloud Computing Based Nature-Inspired Algorithms Optimization Scheduling // Asian Journal of Computer Science And Information Technology*. — 2021. — №. 8. — С. 1-16.
- [7] Biamonte J., Wittek P., Pancotti N., Rebentrost P., Wiebe N., Lloyd S. *Quantum machine learning // Nature*. — 2017. — №. 549. — С. 195–202.
- [8] Montiel O., Rubio Y., Olvera C., Rivera A. *Quantum-Inspired Acromyrmex Evolutionary Algorithm // Scientific Reports*. — 2019. — №. 9.



НАУЧНЫЙ ВОПРОС

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-95-101

МУСТАЕВ Ленар Маратович,

студент,

Уфимский университет науки и технологий,

e-mail: lenarmustaev@yandex.ru

АГАПОВ Михаил Юрьевич,

студент,

Уфимский университет науки и технологий,

e-mail: agapov.m2004186@gmail.com

РУСАКОВ Артур Витальевич,

студент,

Уфимский университет науки и технологий,

e-mail: arturleonoff@gmail.com

ГЛУЩЕНКО Валерий Андреевич,

аспирант,

Уфимский университет науки и технологий,

e-mail: val_g_2001@bk.ru

МИНАСОВ Шамиль Маратович,

доцент, кандидат технических наук,

Уфимский университет науки и технологий,

e-mail: minasov@ufanet.ru

АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ И УТОЧНЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В ЗАКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВАХ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Аннотация. В рамках данной работы рассматривается использование комбинации инерциальных датчиков смартфона для определения местоположения и перемещения в закрытых пространствах со сложной геометрией. Технология основана на комплексном использовании встроенных датчиков мобильных устройств (акселерометра и гироскопа) и системы визуальных маркеров в виде QR-кодов; методология предполагает непрерывный сбор и обработку данных инерциальной навигации с последующей коррекцией позиционирования при помощи сканирования QR-кодов, размещенных в ключевых точках пространства.

Ключевые слова: акселерометр, гироскоп, сканирование QR-кодов, web-приложение, узел графа, indoor navigation.

MUSTAEV Lenar Maratovich,

student,

Ufa University of Science and Technology

AGAPOV Mihail Yurievich,

student,

Ufa University of Science and Technology

RUSAKOV Artur Vitalievich,

student,

Ufa University of Science and Technology

ALGORITHMS AND METHODS FOR TRACKING AND CLARIFYING LOCATIONS IN ENCLOSED SPACES OF COMPLEX GEOMETRY

Annotation. *This paper examines the use of a combination of inertial sensors on a smartphone to determine location and movement in enclosed spaces with complex geometries. The technology is based on the integrated use of built-in sensors of mobile devices (accelerometer and gyroscope) and a system of visual markers in the form of QR codes; the methodology involves the continuous collection and processing of inertial navigation data, followed by positioning correction by scanning QR codes placed at key points in space.*

Key words: *accelerometer, gyroscope, QR code scanning, web application, graph node.*

Введение

В современном мире в каждом крупном здании возникает потребность в документировании инженерных систем для их своевременного обслуживания. К примеру, крупные торговые центры включают в себя сложные инженерные системы, состоящие из множества взаимосвязанных элементов безопасности, таких как системы пожаротушения, вентиляции, электроснабжения, видеонаблюдения, аварийного оповещения и т.д. Оперативный мониторинг состояния этих систем осложняется значительными площадями помещений, сложной планировкой и постоянной ротацией персонала. Особую проблему представляет ситуация, когда технический специалист, особенно недавно приступивший к обязанностям, не обладает полным знанием инфраструктуры объекта и не может оперативно определить местоположение конкретного элемента системы безопасности для устранения потенциальной угрозы. Традиционные методы контроля, основанные на периодических обходах для обслуживания инженерных систем, не обеспечивают необходимой оперативности реагирования в случае возникновения экстренных ситуаций, к примеру срабатывание датчика задымления. Перед активацией сценария эвакуации всего здания существует небольшое временное окно для того, чтобы персонал добрался до места срабатывания датчика и подтвердил или опроверг наличие угрозы. В условиях чрезвычайных происшествий, таких как задымление или отключение электроэнергии, проблема усугубляется отсутствием четких визуальных ориентиров, что делает навигацию по объекту крайне затруднительной [1]. В связи с этим возникает необходимость внедрения современных технологических решений, позволяющих персоналу оперативно получать точную информацию о местоположении элементов систем безопасности, обеспечивающих надежную

навигацию в сложных закрытых пространствах, где традиционные подходы демонстрируют существенные ограничения [2]. Реализация таких систем позволит существенно повысить уровень безопасности, сократить время реагирования на инциденты и минимизировать потенциальные риски для людей и имущества.

Актуальность, цель и задачи проекта

Основной целью настоящей работы является повышение эффективности обслуживания инженерных систем крупных торгово-развлекательных комплексов за счет повышения эффективности навигации внутри здания и сокращения времени на поиск обслуживаемого оборудования. Реализация данной цели позволит улучшить показатели бесперебойной работы критически важных систем, такие как системы водоснабжения, вентиляции, пожаротушения, электроснабжения и т.д., что приведет к повышению уровня безопасности посетителей и снижению затрат на обслуживание оборудования.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- разработать алгоритм определения местоположения внутри помещений, позволяющий отслеживать перемещение пользователя в режиме реального времени;
- разработать алгоритм коррекции местоположения, компенсирующий возможные погрешности системы определения местоположения за счет использования дополнительных источников пространственной информации;
- разработать алгоритм визуализации направляющей стрелки в видеопотоке, применяемый для динамического определения и визуализации направляющего вектора, указывающего на целевую точку в пространстве видеопотока;
- создать прототип веб-приложения, предназначенный для навигации пользователя внутри

помещения.

Алгоритм определения местоположения внутри помещений

Для навигации внутри помещений применяются различные методы позиционирования, основанные на радиочастотных (Wi-Fi, BLE), инерциальных (акселерометры, гироскопы) и магнитометрических принципах [3; 4; 5]. Выбор метода определяется балансом между точностью, затратами и условиями эксплуатации.

Разрабатываемая система отслеживания перемещений пользователя основана на комплексном использовании встроенных датчиков мобильных устройств, где акселерометр и гироскоп выступают в качестве основных источников пространственных данных.

Алгоритм коррекции местоположения

Техническая реализация системы сталкивается с рядом существенных ограничений, включая недостаточную точность акселерометра при равномерном движении, приводящую к снижению точности позиционирования, а также постепенное накопление погрешности из-за ошибок интегрирования сигналов и электромагнитных помех [6].

Для устранения этих недостатков разработан алгоритм коррекции местоположения, использующий систему контрольных меток в ключевых узлах графа пространства, представленного в виде навигационной модели, что соответствует современным подходам построения маршрутов внутри зданий [7; 8]. Метки содержат закодированные координаты, позволяющие при сканировании камерой выполнять точную привязку текущего положения к известной точке. Коррекция осуществляется автоматическим перемещением индикатора позиции к координатам метки, что снижает накопленную погрешность.

По мере перемещения карта обновляется, отображая текущее местоположение пользователя. Решение обеспечивает не только наглядное представление позиции, но и анализ перемещений с контролем точности работы системы. Такой подход позволяет эффективно работать в сложных закрытых пространствах, где традиционные методы навигации недостаточно точны или неприменимы.

Алгоритм визуализации направляющей стрелки в видеопотоке

Вычисление угла до цели

Основная математическая обработка начинается с создания точек текущего положения пользователя (userPoint) и последней цели в списке (targetPoint). Для расчета направления используется разница координат по осям X и Y, причем ось Y инвертируется для соответствия математической системе координат (1). С помощью *math*.

acos2 вычисляется угол в радианах между направлением на восток и вектором к цели (2), который затем преобразуется в градусы с поворотом системы отсчета таким образом, чтобы 0° соответствовал направлению на север (3).

Евклидово расстояние:

$$\text{dist}(x, y) = \sqrt{(x_{\text{target}} - x_{\text{user}})^2 + (y_{\text{user}} - y_{\text{target}})^2} \quad (1)$$

Угол в радианах:

$$\theta_{\text{rad}} = \text{acos2}(\Delta y, \Delta x) \quad (2)$$

Преобразование в навигационные градусы:

$$\theta_{\text{deg}} = (90 - \theta_{\text{rad}} * \frac{180}{\pi} + 360) \bmod 360 \quad (3)$$

Расчет относительного угла с учетом направления камеры

Полученный угол корректируется с учетом текущего курса (heading) (4), переведенного из радиан в градусы, с добавлением 540° для компенсации особенностей отображения и приведения результата к диапазону $0-360^\circ$. Для использования в графическом контексте угол конвертируется обратно в радианы с отрицательным знаком, что учитывает особенности системы координат Canvas (5).

Компенсация ориентации камеры:

$$\phi = (\theta_{\text{deg}} + h * \frac{180}{\pi} + 540) \bmod 360 \quad (4)$$

Преобразование для системы координат canvas:

$$\phi_{\text{rad}} = -\phi * \frac{\pi}{180} \quad (5)$$

Трансформация системы координат:

Система координат переносится в центр кадра (6), масштабируется по оси Y с инверсией (для правильного отображения математических координат) (7) и поворачивается на расчетный угол (8).

Перенос начала координат в центр кадра:

$$T_{\text{translate}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & c_x \\ 0 & 1 & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Инверсия вертикальной оси:

$$M_{\text{scale}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

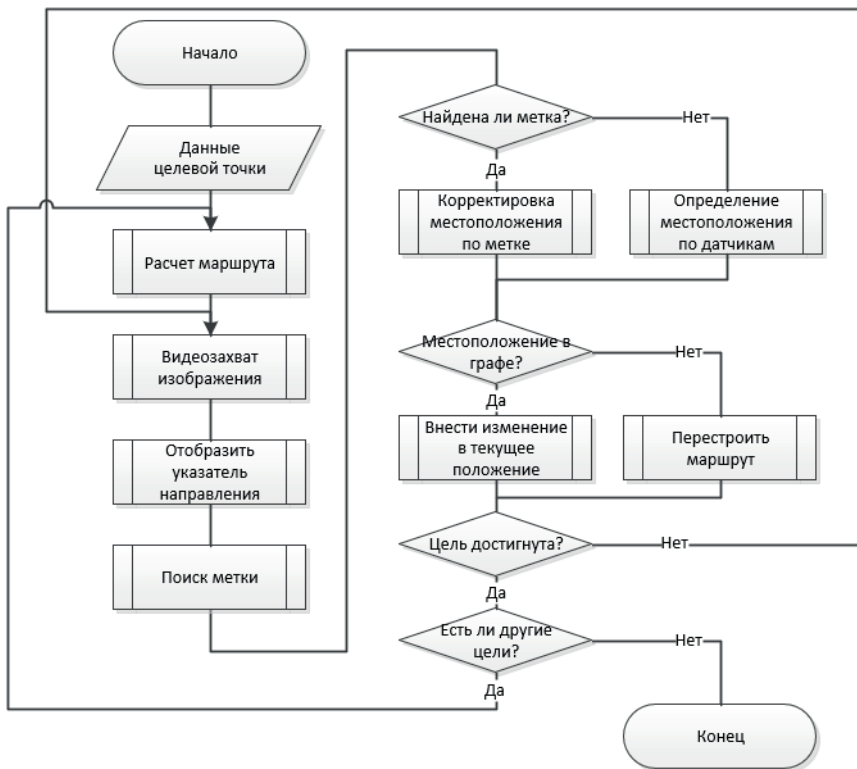
Поворот на рассчитанный угол:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Блок-схема работы системы

Для наглядного представления работы системы разработана блок-схема, показывающая, как взаимодействуют друг с другом алгоритмы пространственного трекинга и коррекции местоположения (рис. 1).

Рисунок 1. Блок-схема алгоритма.



Прототип web-приложения

Прототип разработанного web-приложения представлен на (рис. 2).

Рисунок 2. Разработанное приложение.



Разработанное web-приложение представляет собой навигационное решение, обеспечивающее интуитивно понятное перемещение пользователя по территории пространства со сложной геометрией. Система в реальном времени отображает оптимальный маршрут от текущего местоположения пользователя до выбранной им целевой точки, используя заранее заданную последовательность контрольных точек. Навигация осуществляется с помощью визуальных подсказок, основанных на данных позиционирования. В перспективе в данное решение предполагается интегрировать распознавание образов, а не QR-кодов [9; 10] для интегрирования меток в интерьер помещений.

Ключевой особенностью приложения является использование технологии дополненной реальности – направление движения отображается непосредственно на изображении с камеры мобильного устройства, что позволяет пользователю интуитивно ориентироваться в пространстве. При достижении целевой точки приложение помечает её как посещённую и отображает следующую контрольную точку маршрута.

Для обеспечения максимальной информативности реализована логика оповещений – при успешном достижении целевой точки пользователю отображается диалоговое окно с подтверждением завершения текущего этапа маршрута. Данный функционал может помочь техническому персоналу, поскольку обеспечивает пошаговое выполнение обслуживающих работ и контроль движения по заданному маршруту.

Приложение поддерживает работу в различных условиях освещённости и архитектурной

сложности помещений, обеспечивая стабильную навигацию независимо от внешних факторов. Интеграция с существующими системами управления торговым центром позволяет оперативно обновлять данные о расположении инженерных узлов и изменении планировки пространства.

Экспериментальная часть

Для оценки точности и устойчивости разработанного алгоритма коррекции местоположения было проведено экспериментальное исследование, в рамках которого выполнялось прохождение маршрута с использованием коррекции местоположения и без нее. В качестве тестового маршрута был выбран путь квадратной траектории, включающий три поворота на 90° и завершающийся возвращением пользователя в исходную точку.

Эксперимент проводился с использованием мобильного устройства, оснащённого камерой и стандартными инерциальными датчиками (акселерометром и гироскопом). Перед каждым проходом траектории начальное положение пользователя определялось сканированием метки в стартовой точке. Во время движения по заданному маршруту выполнялась промежуточная коррекция координат посредством сканирования меток, размещённых в узловых точках (на каждом повороте).

В качестве основной метрики использовалась линейная ошибка позиционирования (e), определяемая как евклидово расстояние между фактическими координатами пользователя и координатами, вычисленными системой навигации.

Количественные результаты эксперимента:

Таблица 1. Результаты эксперимента при прохождении квадратного маршрута.

№	Длина маршрута, м	e на участке 1, м	e на участке 2, м	e на участке 3, м	e на участке 4, м	Суммарная накопленная ошибка, м
1	32	2,84	2,95	2,3	3,04	11,68
2	32	3,46	2,66	3,16	2,62	11,9
3	32	1,43	2,16	2,41	2,35	8,35

Анализ полученных результатов

Результаты эксперимента показывают, что при прохождении маршрута с несколькими поворотами использование исключительно инерциальных датчиков приводит к заметному накоплению погрешности позиционирования. Наибольшее значение ошибки наблюдается в эксперименте №2, что может быть связано с накоплением дрейфа акселерометра и ошибками интегрирования сигналов при изменении направления движения.

Применение алгоритма коррекции местоположения позволило снизить ошибку позиционирования во всех экспериментальных проходах в среднем более чем в 3,8 раз. Это подтверждает эффективность предлагаемого подхода и его устойчивость к накоплению инерциальных ошибок при движении по маршрутам сложной формы.

Заключение

Разработанное приложение позволяет осуществлять навигацию внутри помещений без не-

обходимости в использовании стороннего оборудования, такого как Bluetooth-маяки или Wi-Fi роутеры, что позволит существенно снизить затраты на интеграцию данной системы, а также уменьшить сложность интеграции данного решения. Комбинация инерциальной навигации и визуальных маркеров делает систему простой и интуитивной для пользователя, а использование web-технологий обеспечивает кросс-платформенную совместимость.

В ходе экспериментального исследования была продемонстрирована эффективность алгоритма коррекции местоположения, который позволил повысить точность позиционирования при прохождении маршрутов сложной геометрии.

Данное решение может послужить основой для системы навигации внутри торговых центров для технического персонала, обслуживающего инженерное оборудование здания, что позволит повысить эффективность работы инженерных служб даже в условиях текучки кадров.

Список литературы:

[1] Dasler P., Malik S., Mauriello M.L. *Just Follow the Lights: A Ubiquitous Framework for Low-Cost, Mixed Fidelity Navigation in Indoor Built Environments* // *International Journal of Human-Computer Studies*. – 2021. – №. 155.

[2] Fallah N., Apostolopoulos I., Bekris K., Folmer E. *Indoor Human Navigation Systems: A Survey* // *Interacting with Computers*. — 2013. – №. 25. – С. 21-33.

[3] Щипанова Д.Е., Саламонов А.А. *Разработка комплекса indoor-навигации «NaviHelp: инклюзивный навигатор в помещениях»* // *Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании: материалы 27-й Международной научно-практической конференции*. – Екатеринбург : Издательство РГППУ, 2022. – С. 260-262.

[4] Желамский М.В. *Навигация в закрытом пространстве методом активного магнитного позиционирования* // *Датчики и системы*. – 2014. – №. 7. – С. 12-17.

[5] El-Sheimy N., Li Y. *Indoor navigation: state of the art and future* // *Satellite Navigation*. – 2021. – №. 2. – С. 1-23.

[6] Cheng L., Fu Z. *An adaptive Kalman filter loosely coupled indoor fusion positioning system based on inertial navigation system and ultra-wide band* // *Measurement*. – 2025. – №. 244. – С. 116412.

[7] Мауленов К.С., Жарлыкасов Б.Ж. *Распознавание образов для задач поиска и идентификации* // *Наука. Информатизация. Технологии. Образование: материалы XI международной научно-практической конференции*. – Екатеринбург : Издательство РГППУ, 2018. – С. 538-543.

[8] Taneja S., Akinci B., Garrett J.H., Soibelman L. *Algorithms for automated generation of navigation models from building information models to support indoor map-matching* // *Automation in Construction*. – 2016. – №. 61. – С. 24-41.

[9] Минасов Ш.М., Мустаев Л.М. *Модели и алгоритмы ориентации в закрытых пространствах в условиях неустойчивого сигнала систем глобального позиционирования* // *Невский форум молодых исследований: материалы международной научной конференции (Санкт-Петербург, май 2024 г.)*. – СПб.: МИПИ им. Ломоносова, 2024. – С. 51-57.

[10] Минасов Ш.М., Мустаев Л.М. *Модели и алгоритмы идентификации текущего местоположения для решения задач навигации в закрытых пространствах сложной геометрии* // *Глобальные научные тренды: междисциплинарные исследования: сборник статей VII Международной научно-практической конференции*. – Саратов: НОП «Цифровая наука», 2024. – С. 49-55.

References:

[1] Dasler P., Malik S., Mauriello M.L. *Just Follow the Lights: A Ubiquitous Framework for Low-Cost, Mixed Fidelity Navigation in Indoor Built Environments* // *International Journal of Human-Computer Studies*. – 2021. – No. 155.

[2] Fallah N., Apostolopoulos I., Bekris K., Folmer E. *Indoor Human Navigation Systems: A Survey* //

Interacting with Computers. — 2013. — No. 25. — P. 21-33.

[3] Shchipanova D.E., Salamonov A.A. Development of the indoor navigation system “NaviHelp: an inclusive indoor navigator” // *Innovations in professional and professional-pedagogical education: Proceedings of the 27th International Scientific and Practical Conference.* – Ekaterinburg: Publishing house of RSPPU, 2022. – P. 260-262.

[4] Zhelamskiy M.V. Navigation in closed spaces by the method of active magnetic positioning // *Sensors and systems.* – 2014. – No. 7. – P. 12-17.

[5] El-Sheimy N., Li Y. Indoor navigation: state of the art and future // *Satellite Navigation.* – 2021. – No. 2. – P. 1-23.

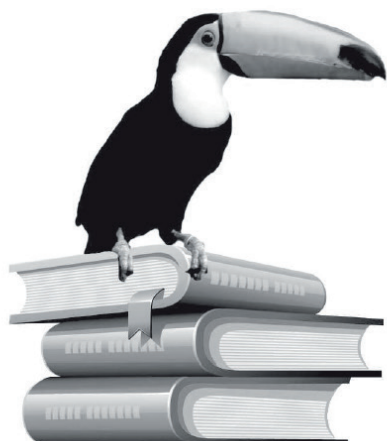
[6] Cheng L., Fu Z. An adaptive Kalman filter loosely coupled indoor fusion positioning system based on inertial navigation system and ultra-wide band // *Measurement.* – 2025. – No. 244. – P. 116-12.

[7] Maulenov K.S., Zharlykasov B.Zh. Pattern recognition for search and identification tasks // *Science. Informatization. Technologies. Education: Proceedings of the XI international scientific and practical conference.* – Ekaterinburg: Publishing house of RSPPU, 2018. – Pp. 538-543.

[8] Taneja S., Akinci B., Garrett J.H., Soibelman L. Algorithms for automated generation of navigation models from building information models to support indoor map-matching // *Automation in Construction.* – 2016. – No. 61. – Pp. 24-41.

[9] Minasov Sh.M., Mustaev L.M. Models and algorithms for orientation in closed spaces under conditions of an unstable signal from global positioning systems // *Nevsky Forum for Youth Research: Proceedings of the international scientific conference (St. Petersburg, May 2024).* – SPb.: MIPI im. Lomonosov, 2024. – P. 51-57.

[10] Minasov Sh. M., Mustaev L. M. Models and algorithms for identifying the current location for solving navigation problems in closed spaces with complex geometry // *Global scientific trends: interdisciplinary research: collection of articles from the VII International scientific and practical conference.* – Saratov: NOP «Digital Science», 2024. – P. 49-55.



ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, Е-Library.

ДАЛОВСКИЙ Кирилл Дмитриевич,
магистрант кафедры «Конструирование одежды и обуви»,
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»,
e-mail: dalovskiykirill@gmail.com

ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В ИНТЕРЕСАХ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТОВ

Аннотация. Актуальность исследования состава и структуры сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) обусловлена необходимостью получения прочных и легких композитов для самолето-, автомобиле-, судо-, машиностроения. Проблема состоит в невозможности достижения прочного соединения волокнистых материалов из СВМПЭ с полимерными пропитками для создания композитов, вследствие отсутствия химического взаимодействия между компонентами. Цель исследования – анализ и систематизация особенностей состава и структуры СВМПЭ затрудняющих получение композитов и поиск путей активации СВМПЭ.

Установлено, что состав СВМПЭ характеризуется отсутствием функциональных групп и активных центров, а наличие только повторяющихся связей (-CH₂-) не способствует формированию устойчивого химического взаимодействия с пропитками. Структура в виде плоского зигзага ввиду отсутствия боковых ответвлений позволяет макромолекулам СВМПЭ плотно укладываться между собой с взаимодействием посредством водородных и Ван-дер-Ваальсовых связей. Процедура получения волокнистых материалов из порошков СВМПЭ при многократном вытягивании-охлаждении волокна приводит к упаковке макромолекул в упорядоченные кристаллиты, что обеспечивает высокую прочность волокнистым материалам СВМПЭ.

Выявлено, что химическая модификация поверхности волокон из СВМПЭ, кроме высокой ресурсоемкости и низкой экологичности процессов, приводит к нарушению уникальной структуры материала и потере прочности. Приведены перспективы использования микроволновых, ультразвуковых плазменных и др. методов поверхностной активации для получения композитов на основе СВМПЭ. Научная новизна заключается в выявлении особенностей структуры и состава волокнистых материалов из СВМПЭ, ограничивающих их взаимодействие с полимерными пропитками и представлении способов активации СВМПЭ для создания композитов.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, структура, пропитка, композит, волокно, активация, кристаллит, прочность.

DALOVSKIY Kirill Dmitrievich,
Master's student, Department of Clothing and Footwear Design,
Kazan National Research University

CHARACTERISTICS OF THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF FIBROUS MATERIALS FROM ULTRA-HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE IN THE INTERESTS OF OBTAINING COMPOSITES

Annotation. The relevance of studying the composition and structure of ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) stems from the need to produce strong and lightweight composites for aircraft, automobiles, marine, and mechanical engineering. The challenge lies in the impossibility of achieving a strong bond between UHMWPE fibrous materials and polymer impregnations to create composites, due to the lack of chemical interaction between the components. The purpose of this study is to analyze and systematize the compositional and structural features of UHMWPE that hinder composite production and to identify ways to activate UHMWPE.

It was established that UHMWPE lacks functional groups and active sites, and the presence of only repeating bonds (-CH₂-) does not facilitate the formation of stable chemical interactions with impregnations. The flat zigzag structure, due to the absence of side branches, allows UHMWPE macromolecules to tightly pack together, interacting through hydrogen and van der Waals bonds. The process of producing fibrous materials from UHMWPE powders through repeated fiber drawing and cooling results in the packing of macromolecules into ordered crystallites, which provides high strength to UHMWPE fibrous materials.

It has been found that chemical modification of the surface of UHMWPE fibers, in addition to being resource-intensive and unsustainable, disrupts the unique structure of the material and reduces strength. Potential applications of microwave, ultrasonic, plasma, and other surface activation methods for producing UHMWPE-based composites are discussed. The scientific novelty lies in identifying structural and compositional features of UHMWPE fibrous materials that limit their interaction with polymer impregnations and in presenting methods for activating UHMWPE for composite creation.

Key words: ultra-high molecular weight polyethylene, structure, impregnation, composite, fiber, activation, crystallite, strength.

Карбоцепные полимеры, в том числе сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), которые не имеют функциональных групп в составе материала, не могут в полной мере образовывать прочную связь с пропитками и полимерными матрицами при создании композитов за счет отсутствия реакционноспособных компонентов. В то же время композиты на основе карбоцепных полимеров, например волокнистых материалов (ВМ) из СВМПЭ обладают высокой прочностью в сочетании с эластичностью и могут быть использованы в качестве нагруженных и ударопрочных элементов в различных отраслях промышленности [1].

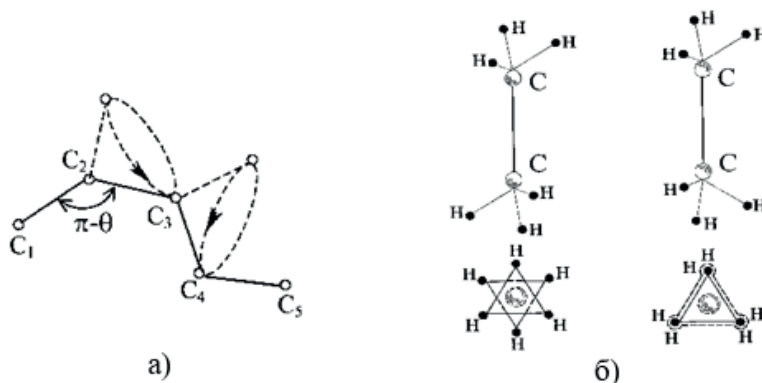
Следует определить ряд важных характеристик полимерной макромолекулы, которые влияют на свойства ВМ из СВМПЭ и могут подвергаться изменениям. Одна из таких характеристик это конфигурация, то есть строгое расположение атомов в молекуле, которое возможно изменить только с разрывом связей в макромолекуле. Изменения свойств СВМПЭ будут зависеть от конфигурации, например, цис- или транс-положения участков макромолекул в полимерах, а также от расположения цепи молекулы, её линейности или разветвленности [2].

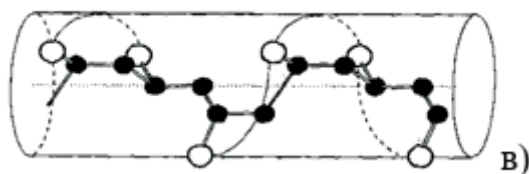
Кроме конфигурации важна конформация СВМПЭ, которая предопределяет движение ато-

мов в рамках одинарной связи под влиянием тепла или внешних воздействий. В отличие от конфигурации, смена конформации не предполагает разрыва химических связей. Кроме того, интерес представляют межмолекулярные связи, которые также влияют на возможные изменения в структуре полимера. Данные связи слабее химических и их силы снижаются при повышении расстояния между элементами молекулы. При этом таких связей достаточно много, так, что в сумме энергия данных связей по длине макромолекулы выше химической.

Среди данных сил межмолекулярного взаимодействия в СВМПЭ можно выделить как силы дальнего действия, которые также называют Ван-дер-Ваальсовыми, а также силы, действующие на коротком расстоянии, обусловленные водородными связями. Если рассмотреть структуру полиэтилена, то в ней регистрируются изменения конформации, связанные с подвижностью молекул, вследствие чего формируются поворотные изомеры. При изучении дальнего порядка макромолекулы рассматриваемого полимера, установлено, что конформация в нем будет характеризоваться плоским зигзагом вследствие отсутствия боковых групп, в то время как, например, в полипропилене это будет спираль (рисунок 1) [3].

Рисунок 1. Разнообразие конформационного строения макромолекул гетероцепных полимеров (а, б - плоский зиг-заг в полиэтилене, в - спираль полипропилена).



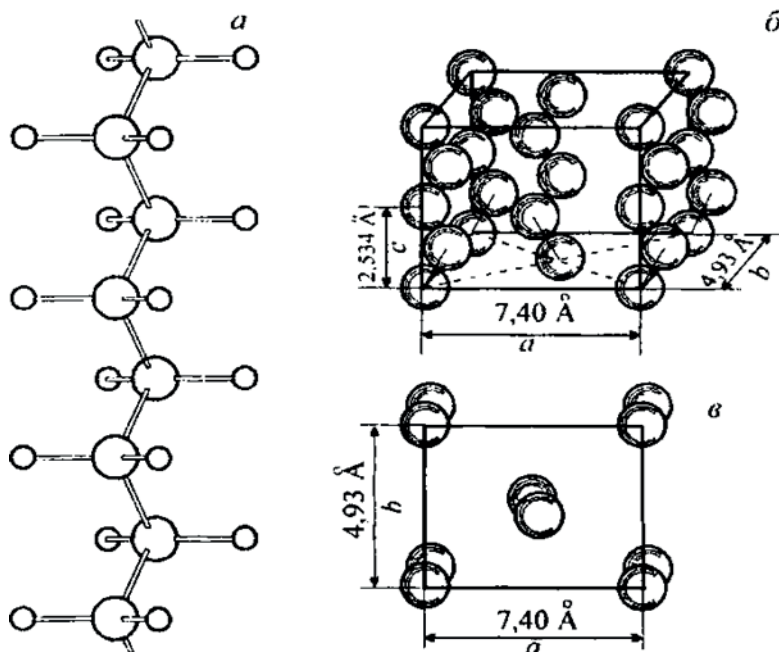


Если рассматривать надмолекулярную структуру полиэтилена, которая обусловлена различными вариантами упорядочения молекул, то можно выделить разнообразие таких структур в части геометрии и размеров: кристаллографическая ячейка – 1-10 Å, монокристаллы – 100-500 Å, полукристаллы – 1000 Å, поликристаллы – от мкм до мм. В части СВМПЭ можно отметить, что он является кристаллизующимся материалом, а степень его кристаллизации будет обусловлена ориентацией, например, в растворе СВМПЭ кристаллитов практически не наблюдается, а при вытяжке (при ориентации) волокна или пленок в нем формируются кристаллические ячейки с определёнными

углами и периодами решётки (рисунок 2) [4].

Например, в СВМПЭ в отсутствие гетероатомов и боковых групп регистрируется плотная упаковка молекул, в виде орторомбических кристаллов, которая формируется за счёт взаимодействия водородных атомов соседних молекулярных цепочек. В зависимости от наличия гетероатомов и боковых групп, структура будет меняться. Дополнительно следует подчеркнуть, что при модификации полимера результат воздействия также будет зависеть от ориентации молекул, как было сказано выше, способствующей кристаллизации и их повышенной упорядоченности вдоль направления вытяжки.

Рисунок 2. Конформация молекулярной цепи полиэтилена (их размещение в кристаллитах (слева) и плоскостная проекция решетки кристаллической ячейки (справа)).



Кроме того, в полимерах с высокой молекулярной массой в ходе межмолекулярных взаимодействий образуются различные укрупненные образования, например, складчатые структуры в виде пачек, а также более сложные агрегаты в виде фибрилл. В ходе синтеза СВМПЭ пачечные и фибрилловые структуры являются образованиями, которые предшествуют и впоследствии способствуют формированию более развитых надмолекулярных форм в виде ламелей. Также важно отметить, что в процессе кристаллизации СВМПЭ, например, при ориентации в волокно или плёнку надмолекулярная структура может сохра-

няться в виде фибрилл или преобразовываться в такие ламелярные образования, как наборы пластин или сферолитов, которые, образуясь из фибрилл, развиваются из единого с ними центра с формированием сферической структуры. Данные сферические образования в свою очередь поддерживаются «проходными цепями», представляющими собой элементы макромолекул между рядом расположенными сферолитами [3].

Получают ВМ из СВМПЭ не из традиционного гранулированного сырья, которое впоследствии подвергается плавлению и формованию из расплава. ВМ являются волокном или тка-

нию, которые прошли процесс ориентации, способствующий кристаллизации, вследствие их многократной вытяжки-охлаждения из раствора порошкообразного сырья. В данном случае необходимо понимать, что к СВМПЭ волокну в ходе его получения уже прикладывается внешняя сила, которая из сферической укладки макромолекул преобразует их в более прямые упорядоченные структуры, которые способствуют протеканию кристаллизации.

В зависимости от степени вытяжки и последовательных процессов вытягивания-охлаждения будет формироваться различная степень аморфности или кристалличности. Важно учитывать, что при недостаточной ориентированности ВМ, формируется большое количество частей макромолекул, которые находятся в неупорядоченных аморфных областях с недостаточной ориентацией. Если же рассматривать образец волокна или ткани с высокой степенью вытяжки в процессе ориентации макромолекул в кристаллитах, где практически отсутствует аморфные области, то тогда в качестве модельной ячейки, повторяющейся в СВМПЭ, можно рассматривать именно кристаллит. Он представляет собой кубическую структуру с известными расстояниями между атомами в цепи полимера, в отличие от аморфных областей, которые обладают большей подвижностью и неоднородностью структуры [5].

В процессах вытяжки-охлаждения фибриллы, имеющиеся в структуре расплава или раствора полимера, приобретают вытянутое строение с формированием монокристалла, который на первых этапах имеет множество дефектов, а далее приобретает более правильную структуру. Такие кристаллы формируются преимущественно в направлении вытяжки. Например, такое преобразование фибриллярной структуры в кристаллиты можно получить в ходе получения формования СВМПЭ волокон из раствора полимера, в рамках одноэтапной ориентационной вытяжки за счет подбора нужных параметров технологического процесса. Это позволяет получать ориентированные СВМПЭ материалы с высокой стойкостью к разрывным нагрузкам (1,4 ГПа) и упругим деформациям (30 ГПа), что важно для создания высокопрочных ударостойких композитов [6].

Известно, что создание композитов из СВМПЭ материалов, которые сами по себе инертны и не связываются химически с функциональными группами полимерных пропиток, требует активации поверхности волокон или плёнок. Таким образом, в композите будут работать два важных параметра: исходная прочность самих волокнистых или пленочных материалов; сила адгезии между полиэтиленовым образцом и пропиткой, что требует подготовки материала для реализации одновременно и прочности волокна, и работы композита как единого целого [7].

Волокнистый композит – образец, состоящий из полимерной матрицы, армированной волокни-

стыми наполнителями для придания необходимого набора свойств. Варьируя количество и вид наполнителя возможно получение принципиально новых материалов, а изменение ориентации и размера волокон обеспечивает получение новых свойств. Как часть конструкции, ВК испытывает на себе высокие нагрузки. К таким материалам предъявляются повышенные требования износостойкости прочности. Композиты, в которых матрицей является полимерный материал, называют полимерными композиционными материалами. К ним относятся стеклопластики, углепластики, органикопластики, боропластики, текстолиты и другие [8].

Различные отрасли промышленности широко применяют композиты с повышенными прочностными характеристиками. Так, для использования деталей с высокой степенью ответственности в авиационной, самолетостроительной и автомобилестроительной используется высокопрочный углепластик. Кроме прочности, он обладает высокой хемостойкостью. Однако его применение обходится производителям недешево. К тому же, огромную роль в выборе высокопрочного композита играет вес материала. Здесь уместно говорить о применении композита, армированного волокнами из СВМПЭ, обладающего высокими удельными свойствами. Основными преимуществами пластика из СВМПЭ считают высокую хемостойкость, минимальный коэффициент трения и гигроскопичность, диэлектрические свойства, а также высокое шумопоглощение. Одной из важных характеристик композита из СВМПЭ является уникальное повышение прочности при эксплуатации в отрицательных температурах [9].

Согласно информации, представленной выше, свойства СВМПЭ материалов будут зависеть от конформации, конфигурации, надмолекулярной структуры и силы межмолекулярных связей. Основной проблемой остаётся инертность волокнистых материалов из СВМПЭ и их устойчивость к различным вариантам кислотно-щелочной активации, что препятствует их пропитке ПМ для получения высокопрочных композитов различного назначения [10]. Исходный химический состав СВМПЭ характеризуется отсутствием функциональных групп и недостаточной поверхностной энергией ВМ для надлежащего их сцепления с пропитывающими композициями.

Гидрофобность и устойчивость поверхности ВМ из СВМПЭ к химическим воздействиям предопределяет необходимость поиска новых реагентов, что обуславливает усложнение технологии и дороговизну разработки химических активаторов поверхности [11]. Соответственно, основной задачей активации поверхности СВМПЭ материалов для получения композитов будет изменение именно поверхностных свойств без ухудшения высоких характеристик волокна или пленки в объеме образца.

Вследствие этого, достаточное число исследова-

дований направлено на применение физических способов модификации ВМ из СВМПЭ ультразвуковыми, микротоковыми, плазменными и другими облучающими воздействиями [12]. В таком случае реализация задачи активации поверхности СВМПЭ для получения высокопрочных композитов зачастую сопровождается негативным влиянием воздействий на исходные уникальные свойства полимера, в частности на удельную прочность вследствие деструкции материалов как на поверхности, так и в объеме. Известно, что обработка холодной плазмой является методом, который позволяет регулировать свойства поверхности, сохраняя высокие прочностные свойства для их реализации в композитах на основе СВМПЭ [6; 7].

Таким образом, анализ и систематизация научных изысканий по вопросу состава и строения

ВМ из СВМПЭ в интересах создания композитов на их основе позволили выявить, что отсутствие активных групп в полимере для взаимодействия с пропитками усложняет получение композитов, работающих как монолитный материал. При этом многоступенчатая ориентация СВМПЭ в ходе получения ВМ приводит к формированию волокон с высоким уровнем кристалличности, что придает им высокую прочность в сочетании с легкостью и обуславливает перспективность реализации данных характеристик в композите. Сложность и ресурсоемкость процессов химической активации СВМПЭ обеспечивает интерес к дальнейшим исследованиям по электрофизической поверхностной активации ВМ для взаимодействия с пропитками и реализации свойств СВМПЭ в композитах.

Список литературы:

- [1] Сергеева Е.А., Хубатхузин А.А., Даловский К.Д. Износостойкий материал на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена // *Современные наукоемкие технологии*. – 2025. – № 5. – С. 74-79.
- [2] Кочнев А.М., Заикин А.Е., Галибеев С.С., Архиреев В.П. *Физикохимия полимеров*. – Казань: Изд-во «Фэн», 2003. – 512 с.
- [3] Николаев А.Ф. *Межмолекулярные взаимодействия в полимерах*. – Л.: Изд-во ЛТИ., 1986. – 53 с.
- [4] Николаев А.Ф., Крыжановский В.К., Бурлов В.В. и др. *Технология полимерных материалов*. – СПб.: Профессия, 2008. – 544 с.
- [5] Геллер Б.Э., Геллер А.А., Чиртулов В.Г. *Практическое руководство по физикохимии волокнообразующих полимеров*. – М.: Химия, 1996. – 432 с.
- [6] Сергеева Е.А. *Регулирование свойств синтетических волокон, нитей, тканей и композиционных материалов на их основе с помощью неравновесной низкотемпературной плазмы: дис. ... д-р. техн. наук*. – Казань, 2010. – 432 с.
- [7] Тимошина Ю.А. *Научно-технологические основы создания функциональных синтетических текстильных материалов с защитными свойствами с применением плазмы высокочастотного разряда пониженного давления: дис. ... д-р. техн. наук*. – Казань, 2022. – С. 518.
- [8] Сергеева Е.А., Тихонова Н.В., Даловский К.Д., Гимадеев А.Р. Быстровозводимые модульные конструкции на основе высокопрочных легких композитов // *Перспективы науки*. – 2024. – № 6(177). – С. 138-140.
- [9] Liu J., Li Ch., Yang Y., Wang W., Guo F., Jing K., Wang L. Ultra-high molecular weight polyethylene: From synthesis to applications // *Journal of Organometallic Chemistry*. 2025. – Vol. 1042. – P. 123870.
- [10] Mohammed A.J., Mohammed A.S., Mohammed A.S. Prediction of Tribological Properties of UHMWPE/SiC Polymer Composites Using Machine Learning Techniques // *Polymers*. – 2023. – № 15 (20). – P. 4057.
- [11] Васильев А.П., Данилова С.Н., Охлопкова А.А., Дьяконов А.А., Оконешникова А.В., Макаров И.С. Износостойкость композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с комбинированным наполнением // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 2023. – Т. 89. – № 8. – С. 76–82.
- [12] Abdul Samad M. Recent Advances in UHMWPE/UHMWPE Nanocomposite/UHMWPE Hybrid Nanocomposite Polymer Coatings for Tribological Applications: A Comprehensive Review // *Polymers*. – 2021. – № 13 (4). – P. 608.

References:

- [1] Sergeeva E.A., Khubatkuzin A.A., Dalovsky K.D. Wear-resistant material based on ultra-high molecular weight polyethylene // *Modern science-intensive technologies*. - 2025. - No. 5. - P. 74-79.
- [2] Kochnev A.M., Zaikin A.E., Galibeev S.S., Arkhireev V.P. *Physicochemistry of polymers*. - Kazan: Feng Publishing House, 2003. - 512 p.
- [3] Nikolaev A.F. *Intermolecular interactions in polymers*. - Leningrad: LTI Publishing House, 1986. - 53 p.
- [4] Nikolaev A.F., Kryzhanovsky V.K., Burlov V.V. et al. *Technology of polymeric materials*. – St. Petersburg: Profession, 2008. – 544 p.

[5] Geller B.E., Geller A.A., Chirtulov V.G. *Practical Guide to the Physicochemistry of Fiber-Forming Polymers*. – Moscow: Chemistry, 1996. – 432 p.

[6] Sergeeva E.A. *Regulation of Properties of Synthetic Fibers, Threads, Fabrics, and Composite Materials Based on Them Using Nonequilibrium Low-Temperature Plasma: Diss. ... Doctor of Engineering Sciences*. – Kazan, 2010. – 432 p.

[7] Timoshina Yu.A. *Scientific and Technological Foundations of Creating Functional Synthetic Textile Materials with Protective Properties Using Low-Pressure High-Frequency Discharge Plasma: Diss. ... Doctor of Engineering Sciences*. – Kazan, 2022. – P. 518.

[8] Sergeeva E.A., Tikhonova N.V., Dalovskiy K.D., Gimadeev A.R. *Rapidly erected modular structures based on high-strength lightweight composites // Perspectives of Science*. – 2024. – No. 6(177). – P. 138-140.

[9] Liu J., Li Ch., Yang Y., Wang W., Guo F., Jing K., Wang L. *Ultra-high molecular weight polyethylene: From synthesis to applications // Journal of Organometallic Chemistry*. 2025. – Vol. 1042. – P. 123870.

[10] Mohammed A.J., Mohammed A.S., Mohammed A.S. *Prediction of Tribological Properties of UHMWPE/SiC Polymer Composites Using Machine Learning Techniques // Polymers*. – 2023. – No. 15 (20). – P. 4057.

[11] Vasiliev A.P., Danilova S.N., Okhlopko A.A., Dyakonov A.A., Okoneshnikova A.V., Makarov I.S. *Wear Resistance of Composite Materials Based on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene with Combined Filling // Factory Laboratory. Diagnostics of Materials*. – 2023. – Vol. 89. – No. 8. – P. 76–82.

[12] Abdul Samad M. *Recent Advances in UHMWPE/UHMWPE Nanocomposite/UHMWPE Hybrid Nanocomposite Polymer Coatings for Tribological Applications: A Comprehensive Review // Polymers*. – 2021. – No. 13 (4). – P. 608.



Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

PATHOGENICITY OF PENICILLIN FUNGUS AGAINST CITRUS RED MITE

Annotation. *The paper presents the results of the identification of the isolate of the fungus *Penicillium oxalicum*, isolated from natural sources, and the assessment of its pathogenicity in relation to the citrus red mite (*Panonychus citri*). Morphological and molecular-genetic studies were conducted to confirm the species affiliation of the fungus. The pathogenic effect was assessed in laboratory conditions, where it was found that *P. oxalicum* has a pronounced activity against various stages of the mite's development. The obtained data indicate the potential of this fungus as a biocontrol agent in the protection of citrus crops.*

Key words: *pathogenicity, *Penicillium oxalicum*, citrus red mite, *Panonychus citri*, biocontrol, entomopathogenic fungi, pathogenesis, acaricides, pest resistance, morphological identification, molecular identification.*

Актуальность исследования

Цитрусовый красный клещ (*Panonychus citri*) является опасным вредителем сельскохозяйственных культур, особенно цитрусовых, вызывая значительные экономические потери. В условиях устойчивости популяций клеща к химическим акарицидам возрастает потребность в экологически безопасных методах борьбы. Изучение патогенных грибов как альтернативных биоконтрольных агентов приобретает особую значимость. В этом контексте исследование патогенности *Penicillium oxalicum* открывает новые перспективы в разработке эффективных и устойчивых методов защиты растений.

Panonychus citri, широко известный как цитрусовый красный клещ, является серьезным вредителем, представляющим серьезную угрозу для целого ряда растений, включая цитрусовые, инжир и груши, наносящий особенно выраженный ущерб цитрусовым культурам. Благодаря своим небольшим размерам, быстрому размножению и высокой способности к расселению, *P. citri* превратился в основного вредителя, сдерживающего развитие цитрусовой индустрии. В настоящее время химическая борьба остается преобладающим методом борьбы с крупномасштабными нашествиями клещей. Однако широкое применение химических пестицидов привело к возникновению целого ряда серьезных проблем, включая чрезмерное количество остатков пестицидов, нанесение ущерба природным врагам и нарушение экологического баланса в цитрусовых садах, что создает экологические и социальные проблемы. Более того, уникальные экологические стратегии и приспособляемость клещей к окружающей среде приводят к возникновению все более серьезных проблем устойчивости к пестицидам и их повторному распространению. Исследования показали, что у *P. citri* развилась устойчивость к различным традиционным акарицидам, таким как спиродиклофен, циенопирафен, бифеназат, фенпироксимат, толфенпирад, этоксазол и абамектин. [1, с. 20] В свете этих проблем существует настоятельная необходимость выйти из тупика, вызванного химическим контролем, путем разработки эффективных, экономичных и экологически чистых биопестицидов для борьбы с вре-

дителями при производстве цитрусовых. Наиболее широко и тщательно изученные акарицидные биоконтролирующие грибы в настоящее время в основном относятся к классу Sordariomycetes, включая такие роды, как *Beauveria*, *Metarhizium* и *Verticillium*. [3, с. 16] Эти грибы, способные к биологическому контролю, имеют относительно широкий спектр хозяев, включая различных вредных клещей из отряда тромбидиформных. На сегодняшний день успешно выделено несколько вирулентных штаммов против *P. citri*, в том числе *Paecilomyces farinosus*, *Lecanicillium lecanii*, *B. bassiana* и *Metarhizium anisopliae*. Среди них, Уровень смертности от *B. bassiana* и *M. anisopliae* превысил 85% против взрослого *P. citri* в лабораторных условиях. Однако также было обнаружено, что физиологические характеристики грибов с биоконтролем делают их восприимчивыми к факторам окружающей среды, таким как температура и ультрафиолетовое излучение, которые ограничивают их выживаемость, эффективность биоконтроля и стойкость (Cafarchia et al., 2022; Jaronski, 2010). [2] Таким образом, дальнейшее изучение биоконтролируемых грибов, особенно тех, которые обладают высокой устойчивостью к стрессовым воздействиям окружающей среды, поможет обогатить существующий фонд акарицидных грибковых средств для биоконтроля и обеспечит более надежную поддержку при применении препаратов для биоконтроля. Для эффективной борьбы с *P. citri* в этом исследовании из больных образцов *P. citri*, собранных в городе Тайчжоу, провинция Чжэцзян, Китай, был выделен термостойкий и высокопатогенный штамм НУС2101. Штамм был идентифицирован на основании его морфологических и молекулярно-биологических характеристик. Далее мы исследовали его биологические свойства, механизмы инфицирования и патогенеза, а также акарицидную активность. Это исследование направлено на то, чтобы стать ценным дополнением к существующим средствам биологической борьбы с клещами и заложить основу для разработки средств биологической борьбы с *P. citri*. [4, с. 6]

Целью настоящего исследования является идентификация изолята гриба *Penicillium oxalicum* и изучение его патогенного действия на цитрусо-

вого красного клеща (*Panonychus citri*).

В рамках работы решаются **задачи**: выделение и морфологическая характеристика гриба, молекулярная идентификация вида с использованием методов ПЦР, а также определение степени патогенности гриба по отношению к различным стадиям развития вредителя в лабораторных условиях.

Материалы и методы:

Чтобы получить эффективные средства биоконтроля грибов *Panonychus citri*, в этом исследовании систематически выявлялся высокопатогенный штамм НУС2101 путем анализа его культуральных характеристик, физиологических и биохимических свойств и молекулярной идентификации. Изолят был идентифицирован как *Penicillium oxalicum*. В ходе лабораторных наблюдений с использованием стереомикроскопии и сканирующей электронной микроскопии был задокументирован процесс инфицирования *P. oxalicum* НУС2101 в *P. citri* и определена его патогенность в отношении взрослых самок и личинок. Было установлено, что оптимальный температурный диапазон для роста мицелия и образования конидий *P. oxalicum* НУС2101 составляет 25-35°C, при этом спороношение наиболее интенсивно в течение дня (агаровая среда с декстрозным дрожжевым экстрактом Сабуро). Наблюдения за процессом заражения показали, что конидии легко прикрепляются к кутикулярным складкам и щетинкам клеща. Через 24 часа споры прорастают и проникают в кутикулу. К 48 часам гифы проникли внутрь клеща через кутикулу, ротовой аппарат и задний проход. Через 96 ч тело клеща было полностью покрыто гифами и большим количеством спор, что в конечном итоге привело к гибели хозяина. Результаты тестов на патогенность показали, что штамм НУС2101 был в значительной степени патогенным как для взрослых самок, так и для личинок, причем большая патогенность проявлялась в отношении взрослых самок. Значения LC50 после 7 дней инфицирования составили $5,92 \times 10^4$ и $9,22 \times 10^5$ спор/мл для взрослых самок и личинок соответственно. При максимальной концентрации спор 1×10^8 спор/мл, уровень Значения LT50 для взрослых самок и личинок составили 2,80 и 4,79 дня соответственно. В заключение, высокопатогенный штамм *P. oxalicum* НУС2101 демонстрирует значительный потенциал для использования в зеленой профилактике и борьбе с красными цитрусовыми клещами и требует дальнейшего развития в качестве средства биоконтроля. [6; 7]

Для достижения поставленной цели используются методы световой микроскопии, молекулярно-генетические методы (ПЦР и секвенирование), а также биологические тесты на заражение клещей и оценка летальности в контролируемых условиях.

Клещи *P. citri*, встречающиеся в природе, были собраны в цитрусовых садах города Тай-

чжоу, провинция Чжэцзян, Китай. Собранные образцы были помещали в стерильные центрифужные пробирки, содержащие 100 мкл стерильной воды с добавлением 0,10% Tween-80. После тщательного встряхивания надосадочную жидкость последовательно разбавляли до 10-1, 10-2 и 10-3. Эти растворы наносили на чашки с картофельно-декстрозным агаром (PDA) (состав на литр: 200 г картофельного экстракта, 20 г глюкозы и 20 г агара). Чашки переворачивали и инкубировали в темноте при температуре 28°C в инкубаторе с постоянной температурой. После образования одиночных колоний получали чистые культуры путем переноса отдельных колоний в свежую среду PDA. Выделенный штамм был сохранен и обозначен как НУС2101 (хранится в Главном микробиологическом центре Китая Центр сбора культур, регистрационный номер: CGMCC 40263). Взрослые самки *P. citri*, использованные в данном исследовании, были первоначально собраны в цитрусовых садах Чжэцзянской академии сельскохозяйственных наук и содержались в тепличных условиях в институте более двух лет. 10 поколений. Для экспериментов по инокуляции были отобраны синхронные взрослые самки, находящиеся на одинаковой стадии развития. [11]

Статистический анализ экспериментальных данных

Все данные были нормализованы перед анализом. Для оценки однородности дисперсии использовался тест Левена, а для выявления значимых различий - тест Тьюки на достоверность различий (HSD). Результаты представлены в виде среднего значения стандартное отклонение с уровнем значимости $\alpha = 0,05$. Значения LT и LC, а также их 95% доверительные интервалы (CIs), были рассчитаны с помощью пробит-анализа. Весь статистический анализ проводился использованием программ SPSS 22.0 (International Business Machines. Corporation) и GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Software, Inc.). [9]

Идентификация и характеристика изолята

Штамм НУС2101 продемонстрировал следующие культуральные характеристики на среде PDA: Он рос относительно медленно, достигнув диаметра около 3,04 см после 7 дней культивирования. Колония была круглой, плоской и бархатистой по текстуре. Мицелий изначально был белым, позже становился темно-зеленым с обильным спорообразованием. Обратная сторона колонии имела бледно-желтую пигментацию. Под оптическим микроскопом штамм НУС2101 продемонстрировал морфологические особенности, показанные на рисунке 1А. Конидиеносцы несли бимутовчатые (двухъярусные) пенициллы, иногда мономотовчатые (однорядные) или тервертициллиатные (трехъярусные). Каждая мутовка состояла из 1-3 метул, размером 3,30-4,12 x 16,96-22,86 мкм. Фиделиды были тонкими, колбовидными, по 4-8 штук на оборот, размером 2,08-3,41 x 8,38-12,40 мкм,

с конидиальными цепочками на концах (рисунки В, D). Конидии были от эллиптических до почти шаровидных, зеленовато-голубые, размером 2,12-3,43 x 3,69-4,94 мкм. Секвенирование ДНК генов ITS, BenA, CaM и RPB2 штамма НУС2101 дало фрагменты длиной 572, 457, 581 и 916 п.н. соответственно. Сравнение этих последовательностей в базе данных GenBank с помощью программы BLAST показало, что штамм НУС2101 на 100% гомологичен *P. oxalicum*. Последовательности ITS, BenA, CaM и RPB2 были объединены для построения филогенетического дерева с максимальным правдоподобием. Полученный филогенетический анализ показал, что штамм НУС2101 стабильно кластеризуется в пределах клады *P. oxalicum* (рис. 2), что подтверждает нашу, морфологическую идентификацию изолята НУС2101 как *P. oxalicum*. [8, с. 18]

Влияние питательной среды на рост мицелия и споруляцию штамма НУС2101

Морфология колоний штамма НУС2101 значительно различалась на разных питательных средах. На среде SDAY колонии имели оранжево-красный оттенок, тогда как на CDA они приобретали белый цвет. При выращивании на средах PSA, MEA и MCDA колонии имели пигментацию от травянисто-зеленого до оливково-зеленого цвета (рисунок 3А). Штамм НУС2101 продемонстрировал устойчивый рост на всех протестированных средах (PSA, SDAY, MCDA, MEA и CDA), с самой высокой скоростью роста, наблюдавшейся на среде MCDA. Через 9 дней культивирования диаметр колонии на среде MCDA достиг 6,92 см (рисунок 3В). С точки зрения споруляции, сре-

да SDAY обеспечивала самый высокий урожай спор ($5,08 \times 10$ спор/мл), значительно превышая таковой на других твердых средах. Примечательно, что минимальная споруляция наблюдалась на любой из шести протестированных жидких сред (рисунок 3С). [13, с. 32]

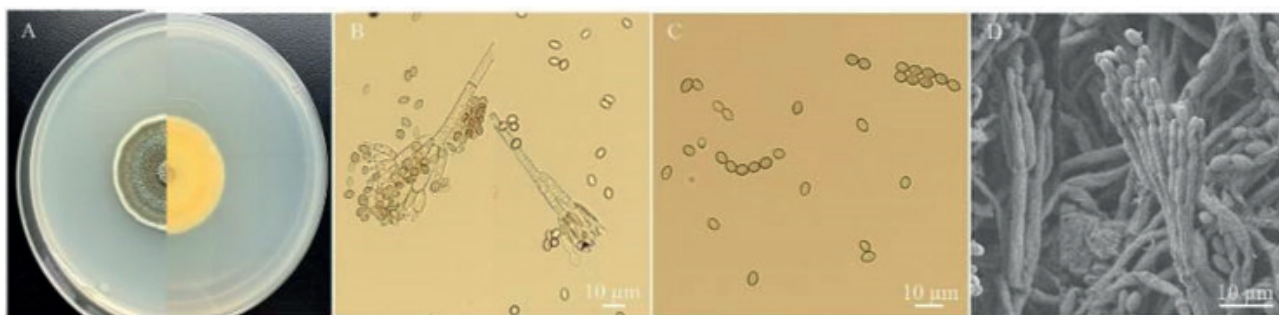
Влияние времени инкубации на прорастание спор штамма НУС2101

Споры штамма НУС2101 инкубировали при 28°C, а всхожесть оценивали через 3, 4, 5, 6 и 7 часов после инокуляции. Как показано на рисунке 4А, всхожесть спор штамма НУС2101 постепенно увеличивалась с увеличением времени инкубации. Примечательно, что после 7 часов инкубации всхожесть превысила 85%, что свидетельствует о высокой активности прорастания. [12]

Температурная адаптация и эффективность прорастания штамма НУС2101

Штамм НУС2101 продемонстрировал широкий диапазон толерантности к температуре на среде PDA, при этом рост мицелия наблюдался в диапазоне от 10 до 35 С. Примечательно, что скорость роста мицелия была значительно выше при температуре от 25 до 35 °С по сравнению с другими протестированными диапазонами (рисунок 4В). Температура оказала существенное влияние на скорость прорастания спор штамма НУС2101. После 6 часов инкубации оптимальный температурный диапазон для прорастания спор был определен как 25-40 С, при этом 35 °С оказались наиболее благоприятными (рисунок 4С). Минимальная всхожесть наблюдалась при температурах ниже 20 °С или выше 45 °С. [15]

Рисунок 1. Морфологические характеристики изолята *P. oxalicum* НУС2101 на КДА. (А) Верхняя и дорсальная поверхности колонии штамма НУС2101 на КДА на 7-й день. (В) Спорофор с развивающимися конидиями под световым микроскопом (x400), (С) Конидии и цепочки конидий под световым микроскопом (x400); (D) Спорофор с конидиями под сканирующей электронной микроскопией (x500).



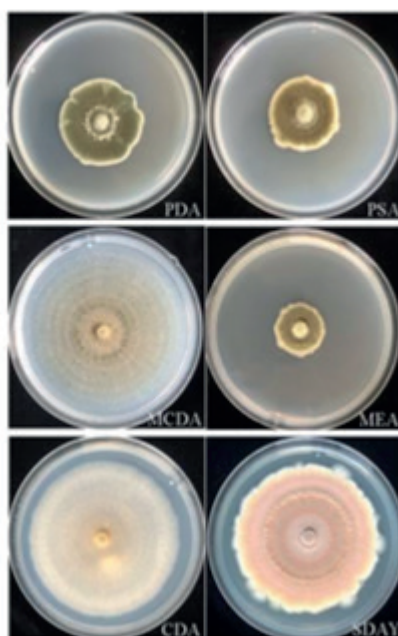
Гистопатологический анализ *P. citri*, инфицированных спорами штамма НУС2101. Стереомикроскопические наблюдения показали, что через 48 ч после инокуляции взрослых самок *P. citri* конидиальной суспензией штамма НУС2101 клещи демонстрировали вялую подвижность, при этом на их дорсальных поверхностях и ногах появлялся редкий мицелиальный налет (рисунок 5А). Через 72 ч наблюдался обширный белый мице-

лиальный налет по всему телу взрослых клещей (рисунок 5В). К 96 ч клещи были полностью покрыты грибными гифами, с обильным спорулирующими структурами и зелеными конидиями, образующимися на мицелиальных матах (рисунок 5С). Под микроскопом SEM на начальном этапе инокуляции конидии прикреплялись к кутикуле клеща, особенно в складках поверхности, бороздках и основаниях щетинок (рисунок 6А). В

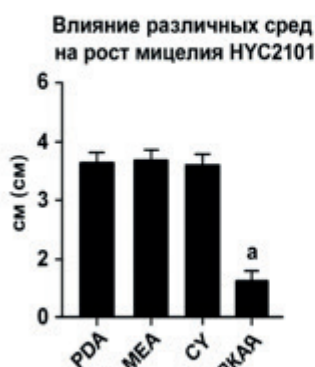
течение 24 часов после инокуляции конидии прорастали, образуя ростковые трубки и аппрессории (рисунки 6B–D). Некоторые ростковые трубки непосредственно проникали в кутикулу путем ферментативного расщепления (рисунки 6B, D). Через 48 часов ростковые трубки далее развивались в гифы, демонстрируя различные паттерны инвазии: некоторые распространялись вдоль кутикулы, другие проникали непосредственно в

стенку тела, а часть проникала через естественные отверстия, такие как гипостом и анус (рисунки 6E–G). Через 72 часа плотные сети мицелия широко покрывали поверхность клеща (рисунок 6H). К 96 часам трупы клещей полностью заросли гифами гриба, которые в дальнейшем развились в воздушный мицелий, несущий многочисленные спорообразующие структуры и конидии (рис. 6I). [16; 17]

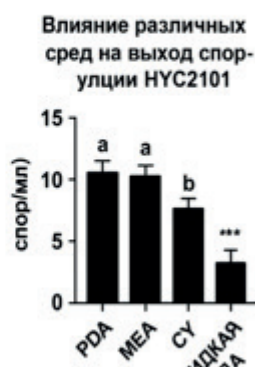
Рисунок 2. Рост мицелия и выход споруляции штамма НУС2101 на различных питательных средах. (А) Фенотипы роста штамма НУС2101 на различных средах (9 дней); (Б) Влияние различных сред на рост мицелия НУС2101; (В) Влияние различных сред на выход споруляции НУС2101. Все данные представлены в виде среднего значения + стандартное отклонение (*n = 3). Строчные буквы обозначают множественные сравнения выхода споруляции между твердыми средами, а *** обозначают статистически значимые различия (p < 0,001, t-критерий Стьюдента) между твердыми и жидкими средами.



А



Б



В

Патогенность яиц *P. citri*

Оценка патогенности штамма НУС2101 в отношении яиц *Ranunculus citri* выявила значительные задержки начала вылупления и подавление окончательной выводимости (рисунок 7). Кон-

трольные яйца начали вылупляться на 3-й день, тогда как при концентрациях >1×10⁵ спор/мл в обработанных яйцах наблюдалась задержка начала вылупления до 5-го дня. Более того, хотя кумулятивная вылупляемость в обработанных

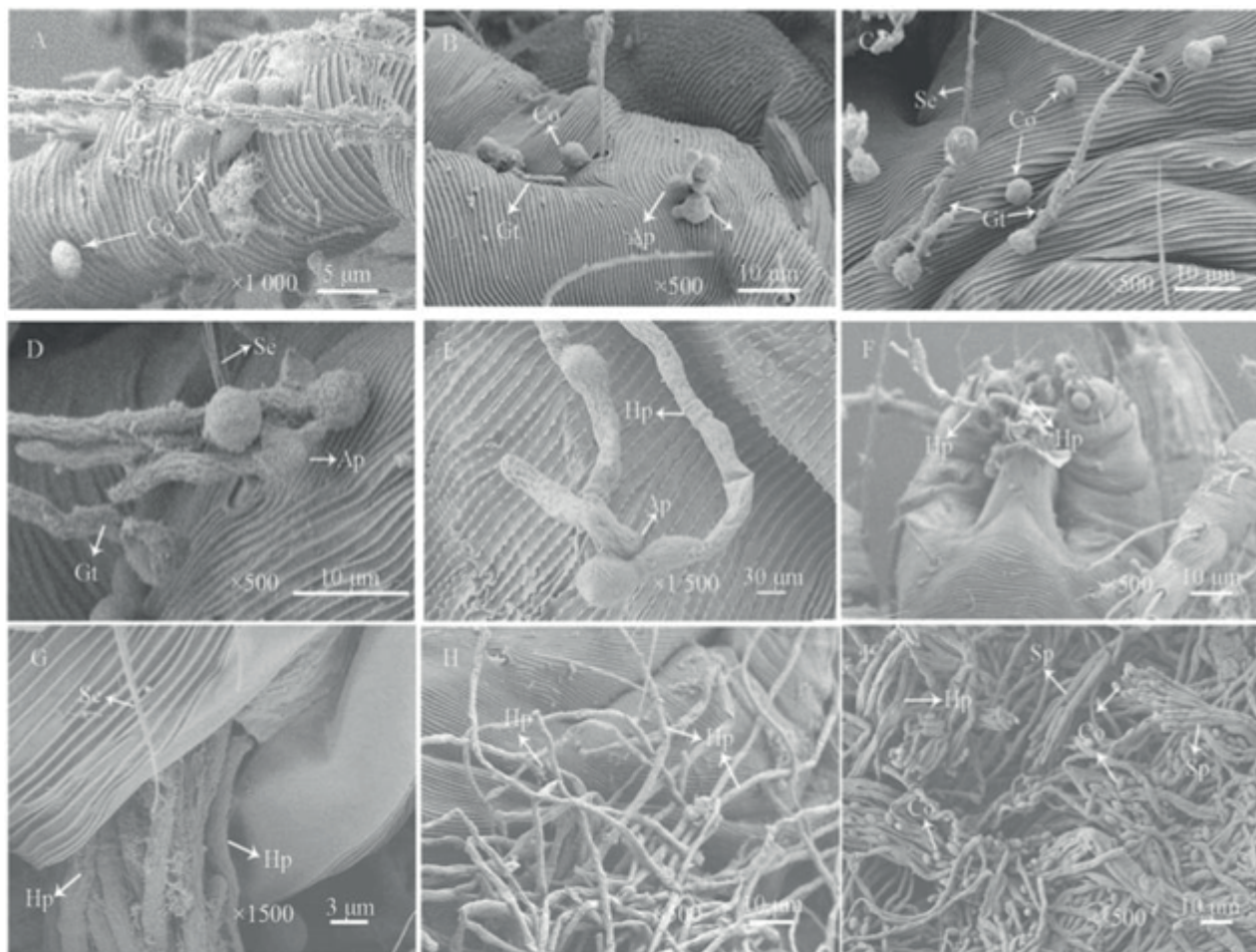
группах временно увеличилась, она оставалась значительно ниже, чем в контрольной группе, при этом более высокие концентрации вызывали

более сильное ингибирование. На 8-й день после обработки выводимость составила 38,38% при 1×10^8 спор/мл (см. рисунок 7). [18, 19]

Рисунок 3. Внешние симптомы у *P. citri*, инфицированного *P. oxalicum* HCY2101. (A) *P. citri* через 48 часов после заражения. (B) *P. citri* через 72 часа после заражения. (C) *P. citri* через 96 часов пост-инфекция.



Рисунок 4. Сканирующие электронные микрофотографии взрослых особей *P. citri*, инфицированных *P. oxalicum* HCY2101 (A) Конидиальная (Co) адгезия к кутикуле и щетинкам клеща (Se) на ранней стадии заражения. (B, C) Некоторые конидии проросли и образовали ростковые трубки (Gt) (24 ч). (D) Ростковые трубки выросли вдоль кутикулы и образовали аппрессории (Ap) для проникновения (24 ч). (E) Гифы (Hy) простирались по кутикуле, а аппрессории прорывали эпидермис (48 ч). (F) Проникновение гиф через ротовой аппарат *P. citri* (48 ч). (G) Проникновение гиф через анус (48 ч). (H) Мицелиальное покрытие кутикулы клеща (72 ч). (I) Обширная колонизация гиф и спорообразование на кутикуле (96 ч)..



Заключение и выводы

В ходе исследования был выделен и идентифицирован высокопатогенный штамм *Penicillium oxalicum* НУС2101, обладающий выраженной активностью в отношении цитрусового красного клеща *Panonychus citri*. Морфологические характеристики, а также результаты молекулярно-генетического анализа (ITS, BenA, CaM, RPB2) подтвердили видовую принадлежность изолята.

Экспериментальные данные показали, что штамм НУС2101 способен эффективно заражать и подавлять различные стадии развития клеща — взрослых особей, личинок и яйца. Процессы адгезии, прорастания конидий, формирования аппрессорий, инвазии через кутикулу, ротовой аппарат и анус были подтверждены микроскопическими исследованиями. Высокие показатели летальности при концентрации 1×10^8 спор/мл и

значительное снижение вылупляемости яиц свидетельствуют о сильном патогенном потенциале гриба.

Оптимальными условиями для роста и споруляции штамма являются температуры 25–35°C и твердые питательные среды МСДА и SDAY. Штамм демонстрирует устойчивость к температурным стрессам, что повышает его перспективность как биоконтрольного агента.


Таким образом, *P. oxalicum* НУС2101 представляет собой перспективный грибной биоpestицид для экологически безопасной борьбы с цитрусовым красным клещом. Полученные результаты могут стать основой для разработки новых биологических средств защиты цитрусовых культур, способных снизить зависимость от химических акарицидов и уменьшить риски формирования устойчивости у вредителя. [20]

Список литературы:

- [1] Butt T.M., Jackson C., Magan N. (ред.) Грибы как агенты биологического контроля: достижения, проблемы и потенциал. CABI Publishing, 2001.
- [2] Cafarchia C., Figueredo L.A., Otranto D. Грибные заболевания клещей: биология, патогенность и потенциал контроля. *Journal of Fungal Biology*, 2022.
- [3] *GraphPad Prism 8.0. Руководство пользователя. GraphPad Software, Сан-Диего, США, 2018.
- [4] Goettel M.S., Eilenberg J., Glare T. Энтомопатогенные грибы и их роль в регулировании численности насекомых. В: *Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Academic Press, 2012.
- [5] Hajek A.E., St. Leger R.J. Взаимодействие грибных патогенов и насекомых-хозяев. *Annual Review of Entomology*, 1994; 39: 293–322.
- [6] *IBM SPSS Statistics 22.0. IBM Corp., Нью-Йорк, 2013.
- [7] Inglis G.D., Goettel M.S., Butt T.M., Strasser H. Использование гифомицетовых грибов для борьбы с вредителями насекомыми. В: *Fungi as Biocontrol Agents*. CABI, 2001.
- [8] Jaronski S.T. Экологические факторы при инокулятивном использовании энтомопатогенных грибов. *BioControl*, 2010; 55(1): 159–185.
- [9] Li Z., Alves S.B., Roberts D.W. Биология и экология *Beauveria bassiana*. В: *Entomopathogenic Fungi and Insects*, 2014.
- [10] Luangsa-Ard J.J., Houbraeken J., van Doorn T., Hong S.-B., Borman A.M., Hywel-Jones N.L., Samson R.A. Обновлённая таксономия *Penicillium*: новые данные на основе мультилокусной филогении. *Studies in Mycology*, 2015; 78: 159–183.
- [11] Meyling N.V., Eilenberg J. Экология и эволюция энтомопатогенных грибов. *Advances in Genetics*, 2007; 94: 249–318.
- [12] *NCBI GenBank — Национальный центр биотехнологической информации. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>
- [13] Ortiz-Urquiza A., Keyhani N.O. Механизмы действия энтомопатогенных грибов. *Current Opinion in Insect Science*, 2015; 11: 26–31.
- [14] Pitt J.I., Hocking A.D. Грибы и порча пищевых продуктов. Springer, 2009.
- [15] Samson R.A., Houbraeken J., Thrane U., Frisvad J.C., Andersen B. Пищевые и бытовые грибы. CBS Laboratory Manual Series. Утрехт: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2010.
- [16] Samson R.A., Pitt J.I. Под *Penicillium* и его теломорфные стадии. Academic Press, 2000.
- [17] Sung G.-H., Hywel-Jones N.L., Sung J.-M., Luangsa-Ard J.J., Shrestha B., Spatafora J.W. Филогенетическая классификация *Cordyceps* и грибов семейства *Clavicipitaceae*. *Mycologia*, 2007; 99(1): 234–248.
- [18] Van Oorschot C.A.N. Ревизия подрода *Penicillium* subgenus *Penicillium*. *Studies in Mycology*, 1984; 26: 1–156.
- [19] Wraight S.P., Carruthers R.I., Jaronski S.T., Bradley C.A., Garza C., Galaini-Wraight S. Оценка эффективности энтомопатогенных грибов *Beauveria bassiana* и *Paecilomyces fumosoroseus* для контроля белокрылки. *Biological Control*, 2000; 17(3): 203–217.
- [20] Zimmermann G. Обзор вопросов безопасности энтомопатогенных грибов *Beauveria bassiana* и *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 2007; 17(6): 553–596.

References:

- [1] Butt T.M., Jackson C., Magan N. (eds.) *Fungi as Biological Control Agents: Achievements, Challenges, and Potential*. CABI Publishing, 2001.
- [2] Cafarchia C., Figueredo L.A., Otranto D. *Fungal Diseases of Mites: Biology, Pathogenicity, and Control Potential*. *Journal of Fungal Biology*, 2022.
- [3] *GraphPad Prism 8.0. User's Manual. GraphPad Software, San Diego, USA, 2018.
- [4] Goettel M.S., Eilenberg J., Glare T. *Entomopathogenic Fungi and Their Role in Insect Population Regulation*. In: *Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Academic Press, 2012.
- [5] Hajek A.E., St. Leger R.J. *Interactions of Fungal Pathogens and Insect Hosts*. *Annual Review of Entomology*, 1994; 39: 293–322.
- [6] *IBM SPSS Statistics 22.0. IBM Corp., New York, 2013.
- [7] Inglis G.D., Goettel M.S., Butt T.M., Strasser H. *Use of hyphomycetous fungi for insect pest control*. In: *Fungi as Biocontrol Agents*. CABI, 2001.
- [8] Jaronski S.T. *Ecological factors in the inoculative use of entomopathogenic fungi*. *BioControl*, 2010; 55(1): 159–185.
- [9] Li Z., Alves S.B., Roberts D.W. *Biology and ecology of Beauveria bassiana*. In: *Entomopathogenic Fungi and Insects*, 2014.
- [10] Luangsa-Ard J.J., Houbraken J., van Doorn T., Hong S.-B., Borman A.M., Hywel-Jones N.L., Samson R.A. *Updated taxonomy of Penicillium: new evidence based on multilocus phylogeny*. *Studies in Mycology*, 2015; 78: 159–183.
- [11] Meyling N.V., Eilenberg J. *Ecology and evolution of entomopathogenic fungi*. *Advances in Genetics*, 2007; 94: 249–318.
- [12] *NCBI GenBank — National Center for Biotechnology Information. Access mode: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>
- [13] Ortiz-Urquiza A., Keyhani N.O. *Mechanisms of action of entomopathogenic fungi*. *Current Opinion in Insect Science*, 2015; 11: 26–31.
- [14] Pitt J.I., Hocking A.D. *Fungi and food spoilage*. Springer, 2009.
- [15] Samson R.A., Houbraken J., Thrane U., Frisvad J.C., Andersen B. *Food and household fungi*. CBS Laboratory Manual Series. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2010.
- [16] Samson R.A., Pitt J.I. *The genus Penicillium and its telomorphic stages*. Academic Press, 2000.
- [17] Sung G.-H., Hywel-Jones N.L., Sung J.-M., Luangsa-Ard J.J., Shrestha B., Spatafora J.W. *Phylogenetic classification of Cordyceps and fungi of the family Clavicipitaceae*. *Mycologia*, 2007; 99(1): 234–248.
- [18] Van Oorschot C.A.N. *Revision of the subgenus Penicillium subgenus Penicillium*. *Studies in Mycology*, 1984; 26: 1–156.
- [19] Wraight S.P., Carruthers R.I., Jaronski S.T., Bradley C.A., Garza C., Galaini-Wraight S. *Evaluation of the efficacy of the entomopathogenic fungi Beauveria bassiana and Paecilomyces fumosoroseus for whitefly control*. *Biological Control*, 2000; 17(3): 203–217.
- [20] Zimmermann G. *Review of safety issues of the entomopathogenic fungi Beauveria bassiana and Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 2007; 17(6): 553–596.



ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ» издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.

ГУМЕРОВА Лилиана Аслямовна,
магистрант,
Уфимский университет науки и технологий,
e-mail: liliana.gumerova2015@yandex.ru

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗА: ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Аннотация. В статье проводится комплексный анализ методов диагностики остеопороза, выявление преимуществ и недостатков. Особое внимание уделяется сравнению традиционных и инновационных диагностических подходов. Новизна работы заключается в исследовании новых методов диагностики остеопороза с учетом результатов стандартных процедур. Для сравнительного анализа были рассмотрены такие процедуры как: рентгенография, которая позволяет визуально оценить состояние костей по двумерному изображению. Был представлен метод проведения компьютерной томографии, позволяющий рассматривать кости в трехмерном виде, что позволяет провести более полную оценку состояния ткани. Представлен метод денситометрии, который помогает определить плотность кости с помощью оценки скорости прохождения ультразвука через исследуемую область, что существенно повышает точность исследования. Последним была представлена автоматизированная система, которая выдает рекомендации специалистам в принятии решений по постановке диагноза на основе базы данных, которая включает в себя результаты аналогичных исследований и поставленных диагнозов других специалистов. По результатам исследования был сделан вывод, что наиболее перспективным и точным методом диагностики остеопороза является системы, которая комбинирует все вышеперечисленные методы. Стоит отметить, что сделанные выводы можно применить в клинической практике и научно-исследовательской деятельности.

Ключевые слова: минеральная плотность кости, рентгенография, компьютерная томография, денситометрия, экспертная система, ранняя диагностика, преимущества, недостатки.

GUMEROVA Liliana Aslyamovna,
master's student,
Ufa University of Science and Technology

METHODS OF DIAGNOSIS OF OSTEOPOROSIS: THEIR ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Annotation. The article provides a comprehensive analysis of methods for diagnosing osteoporosis, identifying advantages and disadvantages. Special attention is paid to the comparison of traditional and innovative diagnostic approaches. The novelty of the work lies in the study of new methods for the diagnosis of osteoporosis, taking into account the results of standard procedures. For comparative analysis, such procedures as radiography were considered, which allows you to visually assess the condition of bones from a two-dimensional image. A method of computed tomography was presented that allows bones to be viewed in three dimensions, which allows for a more complete assessment of the tissue condition. The method of densitometry is presented, which helps to determine bone density by estimating the speed of ultrasound passage through the study area, which significantly increases the accuracy of the study. The latter presented an automated system that provides recommendations to specialists in making decisions on diagnosis based on a database that includes the results of similar studies and diagnoses of other specialists. According to the results of the study, it was concluded that the most promising and accurate method of diagnosing osteoporosis is a system that combines all of the above methods. It is worth noting that the findings can be applied in clinical practice and research activities.

Key words: bone mineral density, radiography, computed tomography, densitometry, expert system, early diagnosis, advantages, disadvantages.

На сегодняшний день остеопороз- активно распространяющееся заболевание, характеризующиеся изменением структуры костной ткани.

В России существует множество программ, направленных на улучшение качества жизни пожилого населения, например «Демография», основными нерешенными задачами которых явля-

ются заболевания, ухудшающие качество жизни пациентов. По определенным оценкам остеопороз поставлен у 33,8% женщин и 26,9% мужчин, находящихся в зоне риска. К 2035 году ожидается увеличение количества несчастных случаев с переломами в следствии развития остеопороза, с 590 тыс. случаев до 730 тыс. случаев в год [9, с. 157]. К 2050 году также ожидается увеличение количества поставленных диагнозов на 70%.

Необходимость создания службы инструментальной диагностики для раннего выявления остеопороза оправдывается приемом различных лекарственных препаратов, которые отрицательно влияют на состояние костной ткани, а также увеличением числа лиц, подверженных вредным привычкам [1; 2].

На сегодняшний день существует множество методов, позволяющих оценить состояние костей.

К таким относят денситометрию – метод диагностики костной ткани для определения ее плотности и оценки вероятности появления переломов. С помощью исследования можно измерить уровень кальция, структуру кости, ее плотность, а также толщину поверхностного слоя, следовательно, своевременно и точно обнаружить изменения состояние кости. Однако в зависимости от корректности проведения процедуры зависит точность результатов. Исследование должно проводиться в полном соответствии с рекомендациями, поскольку при неправильном положении тела пациента, результаты могут быть искажены. Также денситометрия характеризуется высокой стоимостью оборудования. Стоит отметить, что данный метод позволяет обнаружить остеопороз на ранних стадиях: при потере 2-3% плотности костной ткани [10, с. 14]. При проведении процедуры измеряется значение Т-критерия – показатель, отражающий степень отклонения минеральной плотности кости от нормы. Таким образом, денситометрия становится значимым и точным инструментом для ранней диагностики остеопороза.

Вторым методом исследования состояния костной ткани является проведение рентгеновской процедуры. Врач детально анализирует рентгенограмму на предмет наличия переломов, либо оценивает качество ткани. Процедура основывается на способности биологических органов поглощать X -лучи: мягкие структуры рассеивают больше излучения, поэтому на изображении они выглядят более темными [4, с. 31]. Следует отметить, что при проведении рентгенографии остеопороз можно заметить только при потере 30-40% плотности костной ткани. При этом точность анализа снимка основывается на субъективном мнении специалиста, что приводит к увеличению погрешности при постановке диагноза.

Третьим методом является проведение компьютерной томографии (КТ). Данное исследование направлено на получение изображения в

поперечном плоскости и последующим построением 3D вида. За счет этого предоставляется возможность отдельно измерить плотность губчатой и кортикальной кости, а значит повысить точность исследования. Диагностическая эффективность метода характеризуется высокими показателями чувствительности и специфичности, равным 93% и 90% соответственно. Однако, стоит отметить, что при проведении КТ пациент получает значительное облучение, также само проведение процедуры имеет высокую стоимость [5, с. 4]. При этом точность метода также, как и при рентгенографии, анализ снимка основывается на мнении и опыте специалиста.

Однако вышеперечисленные методы не позволяют в полной мере провести раннюю диагностику остеопороза. А значит возникает необходимость использования современных специализированных методов и инструментов. Одним из таких является автоматизированная информационная система поддержки принятия решений.

Она представляет собой определенное программное средство, которое помогает анализировать большие наборы данных и на их основе оценивать риски развития остеопороза. Автоматизированная информационная система позволяет собирать подробную информацию о пациенте, анализировать его историю болезни, включая наличие факторов риска, поддерживать базу знаний о болезни и предлагать рекомендации по диагностике и лечению. Программа может отслеживать историю болезни пациента, следовательно, прогнозировать риск заболевания и предлагать дополнительные обследования.

Автоматизированная система является экспертной в области медицины, предназначенной для поддержки принятия решений специалистом на основе уже загруженных различных протоколов обследований, терапевтические рекомендации, результатов диагностических процедур, заключений и т.д. Основными преимуществами являются: легкость во взаимодействии с компьютером, возможность обработки неоднородных данных, работа в режиме реального времени; высокая защита данных; независимость программы в принятии решений; способность расшифровывать результаты.

В системе для ранней диагностики остеопороза объектом являются результаты лабораторных и инструментальных исследований, определяющие уровень кальция и фосфора в крови, данные денситометрии, рентгенографии и компьютерной томографии, а также иные показатели, определяющие риск потери плотности костных тканей. Все перечисленные характеристики являются носителями информации, которые предоставляются «эксперту» для исследования.

Сама система является субъектом, поскольку на основе накопленных знаний анализируются введенные данные о пациенте, анализируются и

выводится заключение.

Таким образом, основными целями системы являются сбор и хранение данных о пациенте, а также анализ и предоставление рекомендаций по лечению и профилактике заболеваний. Если же проводить исследование периодически, то также добавляется возможность мониторинга эффективности лечения и течение заболевания.

Обобщая вышесказанное, можно выделить несколько преимуществ использования автоматизированной информационной системы для диагностики остеопороза. Во-первых, благодаря автоматическому анализу большого объема данных сохраняется точность и эффективность диагностики. Во-вторых, это оптимизируется процесс принятия решений, предоставляя врачам все необходимые сведения. Еще одним преимуществом внедрения информационных систем является повышение надежности и защищенности медицинских данных. Электронные медицинские карты и базы данных позволяют шифровать информацию, а значит допускают их попадание только к уполномоченным лицам. Это снижает риск потери или повреждения данных и предотвращает доступ к конфиденциальной информации третьих лиц. Благодаря автоматизированным информационным системам можно проводить массовое обследование населения на предмет наличия остеопороза. Это помогает своевременно выявить заболевания и эффективно предотвращать его развитие. К преимуществам также можно отнести упрощение самого процесса диагностики,

что делает его более удобным для врачей и пациентов. Пациентам дается возможность пройти быстрое и безболезненное обследование, а врачи могут консультироваться с уже имеющейся базой данных.

К недостаткам использования автоматизированных информационных систем, можно отнести следующие пункты:

1. Автоматизированные системы поддержки принятия решений требуют своевременного и периодического обновления и технического обслуживания. Это же требует дополнительных затрат и усилий.

2. Вероятность ошибок и неточностей. При анализе данных могут возникать ошибки и неточности, которые могут привести к неправильной трактовке результатов диагностики, поэтому требуется тщательное изучение и контроль со стороны специалистов.

3. Система может быть недоступна для определенных категорий населения. Из-за высокой стоимости и дороговизны обслуживания, предлагаемая система может не получить столь широкого распространения в больницах.

Таким образом, использование автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений в целях ранней диагностики остеопороза важно для повышения качества медицинской помощи и улучшения результатов лечения пациентов. Развитие и внедрение подобных систем является перспективным направлением развития современной медицины.

Список литературы:

- [1] Артюкова З.Р., Панина О.Ю., Монахова А.А., Петрайкин А.В., Ерижоков Р.А., Омелянская О.В., Владзимирский А.В., Васильев Ю.А. Современные подходы к инструментальной диагностике остеопороза // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. — 2025.
- [2] Баранова И. Осторожно остеопороз! // Астма и аллергия. — 2004.
- [3] Беневоленская Л.И. Руководство по остеопорозу. — М.: БИНОМосква Лаборатория знаний, 2003. — 523 с.
- [4] Блинов В. С., Китаева Ю. С., Праскурничий Е. А., Чибисова М. А. Современные методы лучевой диагностики остеопороза. Часть 1: рентгеновская абсорбциометрия, количественная КТ, панорамная томография, костная ультрасонометрия: обзор // Лучевая диагностика и терапия. — 2025. — №. 2. — С. 29-39.
- [5] Вельма К. М., Калашникова Е. А., Довгялло Ю. В. Современный взгляд на методы лучевой диагностики остеопороза // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ. — 2024. — №. 3. — С. 104-110.
- [6] Гависова А. А., Твердикова М. А., Якушевская О. В. Остеопороз: современный взгляд на проблему // РМЖ. Мать и дитя. — 2021. — №. 21. — С. 1110-1116.
- [7] Ершов В. Е., Родионова С. С., Кривова А. В., Захаров В. П. Демографические тенденции в борьбе с остеопорозом и его последствиями // РМЖ. — 2019. — №. 4. — С. 11-14.
- [8] Лесняк О. М. Аудит состояния проблемы остеопороза в странах Восточной Европы и Центральной Азии 2010 // Остеопороз и остеопатия. — 2011. — №. 2. — С. 4.
- [9] Лесняк О. М., Баранова И. А., Белова К. Ю., Гладкова Е. Н., Евстигнеева Л. П. Остеопороз в Российской Федерации: эпидемиология, медико-социальные и экономические аспекты проблемы (обзор литературы) // Травматология и ортопедия России. — 2018. — №. 1. — С. 155-168.
- [10] Баранова О.В., Малевич Э.Е. Современные возможности лучевых методов диагностики остеопороза // Медицинские новости. — 2009. — №. 10. — С. 12-16.
- [11] Завадовская В. Д. Основы лучевой диагностики заболеваний опорно-двигательного аппарата: учебное пособие. — Томск: СибГМУ, 2016. — 94 с.

[12] Яковлев М. В. *Нормальная анатомия человека: конспект лекций.* — М.: Научная книга, 2007. — 20 с.

References:

[1] Artyukova Z.R., Panina O.Yu., Monakhova A.A., Petryaikin A.V., Erizhokov R.A., Omelyanskaya O.V., Vladzimirsky A.V., Vasiliev Yu.A. *Modern approaches to instrumental diagnostics of osteoporosis // Bulletin of the Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation.* - 2025.

[2] Baranova I. *Beware of osteoporosis! // Asthma and allergy.* - 2004.

[3] Benevolenskaya L.I. *Osteoporosis Guide.* - Moscow: BINOMoskva Laboratory of Knowledge, 2003. - 523 p.

[4] Blinov V.S., Kitaeva Yu.S., Praskurnichy E.A., Chibisova M.A. *Modern methods of radiation diagnostics of osteoporosis. Part 1: X-ray absorptiometry, quantitative CT, panoramic tomography, bone ultrasonometry: a review// Radiation diagnostics and therapy.* - 2025. - No. 2. - P. 29-39.

[5] Velma K. M., Kalashnikova E. A., Dovgyallo Yu. V. *A modern view of the methods of radiation diagnostics of osteoporosis // Bulletin of the Medical Institute «REAVIZ.* - 2024. - No. 3. - P. 104-110.

[6] Gavisova A. A., Tverdikova M. A., Yakushevskaya O. V. *Osteoporosis: a modern view of the problem // RMJ. Mother and Child.* - 2021. - No. 21. - P. 1110-1116.

[7] Ershov V.E., Rodionova S.S., Krivova A.V., Zakharov V.P. *Demographic trends in the fight against osteoporosis and its consequences // RMJ.* - 2019. - No. 4. - P. 11-14.


[8] Lesnyak O.M. *Audit of the state of the osteoporosis problem in the countries of Eastern Europe and Central Asia 2010 // Osteoporosis and osteopathy.* - 2011. - No. 2. - P. 4.

[9] Lesnyak O. M., Baranova I. A., Belova K. Yu., Gladkova E. N., Evstigneeva L. P. *Osteoporosis in the Russian Federation: epidemiology, medical, social and economic aspects of the problem (literature review) // Traumatology and Orthopedics of Russia.* - 2018. - No. 1. — P. 155-168.

[10] Baranova O.V., Malevich E.E. *Modern Possibilities of Radiation Diagnostic Methods for Osteoporosis // Medical News.* — 2009. — No. 10. — P. 12-16.

[11] Zavadovskaya V.D. *Fundamentals of Radiation Diagnostics of Musculoskeletal Diseases: A Tutorial.* — Tomsk: SibSMU, 2016. — 94 p.

[12] Yakovlev M.V. *Normal Human Anatomy: Lecture Notes.* — Moscow: Nauchnaya Kniga, 2007. — 20 p.



ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ»
издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.

ПОПЛАВСКИЙ Никита Александрович,
студент,
Нижевартовский государственный университет,
e-mail: poplavskiiinikita@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОСТАДИЙНОГО И МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

Аннотация. Статья посвящена сопоставлению эффективности одностадийного и многостадийного гидравлического разрыва пласта (ГРП) при освоении горизонтальных скважин в низкопроницаемых коллекторах. Рассмотрены технологические схемы (поинтервальная перфорация с пробками, муфтовые системы), геомеханические ограничения и роль эффекта тени напряжений при плотном размещении перфорационных кластеров. Для сравнения предложен набор критериев: прирост дебита и извлечения, охват стимулированного объема (стимулированный объем пласта), удельные капитальные и операционные затраты, управляемость обработки и операционные риски. На основе обобщения открытых источников и типовых инженерных допущений показано, что многостадийный ГРП, как правило, обеспечивает больший охват пласта и более устойчивый прирост добычи, но требует строгого контроля дизайна стадий, плотности кластеров и распределения проппанта, иначе наблюдается падение эффективности кластеров и рост риска осложнений.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, горизонтальная скважина, многостадийный ГРП, поинтервальная перфорация с пробками, муфтовые системы, эффект тени напряжений, стимулированный объем пласта, эффективность разработки.

POPLAVSKII Nikita Aleksandrovich,
student,
Nizhnevartovsk State University

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF SINGLE-STAGE AND MULTI-STAGE HYDRAULIC FRACTURING IN HORIZONTAL WELLS

Annotation. The article is devoted to comparing the efficiency of single-stage and multi-stage hydraulic fracturing (HF) in the development of horizontal wells in low-permeability reservoirs. The technological schemes (interval perforation with plugs, coupling systems), geomechanical constraints, and the role of the stress shadow effect in the dense placement of perforation clusters are considered. A set of criteria is proposed for comparison: increase in flow rate and recovery, coverage of the stimulated volume (stimulated reservoir volume), specific capital and operating costs, process control, and operational risks. Based on a summary of open sources and typical engineering assumptions, it is shown that multi-stage hydraulic fracturing generally provides greater reservoir coverage and more sustainable production growth, but requires strict control over the design of stages, cluster density, and proppant distribution, otherwise there is a decrease in cluster efficiency and an increase in the risk of complications.

Key words: hydraulic fracturing, horizontal well, multi-stage hydraulic fracturing, interval perforation with plugs, coupling systems, stress shadow effect, stimulated reservoir volume, development efficiency.

Введение

Технологии горизонтального бурения и интенсивного ГРП стали ключевыми для разработки низкопроницаемых и сланцевых коллекторов. Если одностадийная обработка создаёт ограниченную по протяжённости зону повышенной проводимости, то многостадийный подход предназначен для равномерного стимулирования

всей латерали и вовлечения в фильтрацию ранее недренируемых объёмов. Практический выбор стратегии зависит от геологии, доступной инфраструктуры, ограничений по НК (насосной мощности) и требований к экономике проекта. [6; 7]

Технологические схемы одностадийного и многостадийного ГРП

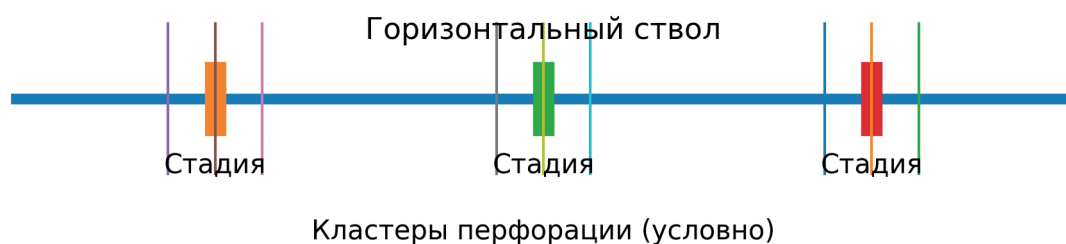
Одностадийный ГРП в горизонтальной сква-

жине чаще реализуется как локальная обработка участка латерали (например, по результатам ГИС/ПГИ) либо как обработка короткого горизонтального интервала. Основные преимущества - меньшая продолжительность работ и упрощённая логистика, однако охват пласта по длине ствола остаётся ограниченным. [6]

Многостадийный ГРП предполагает поинтервальное воздействие вдоль горизонталь-

ного ствола. Наиболее распространены: а) поинтервальная перфорация с пробками с последовательной установкой разобщающих пробок и перфорацией стадий; б) муфтовые системы (муфтовые системы) с пакерами/муфтами, позволяющие открывать порты последовательно. В каждом случае важны длина стадии и шаг кластеров перфорации, определяющие взаимодействие трещин и распределение проппанта. [6; 7]

Рисунок 1. Схема размещения стадий и кластеров перфорации в горизонтальной скважине.



Критерии и методика сравнительной оценки

Для сопоставления эффективности в статье используются нормированные показатели (0-1), позволяющие сравнивать подходы без привязки к конкретному месторождению: (1) технологический эффект (прирост дебита/извлечения), (2) охват стимулированного объёма пласта, (3) управляемость и воспроизводимость дизайна, (4) капитальные затраты на единицу длины латерали, (5) операционные риски (скрин-аут, недорас-

крытие, неравномерная закачка по кластерам). Итоговый индекс определяется как взвешенная сумма, где веса задаются целями разработки.

Нормирование каждого показателя x выполняется по выражению: $x_{\text{норм}} = (x - x_{\text{мин}}) / (x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}})$. Интегральную оценку рассчитывают как сумму: $a_1 \cdot k_1 + a_2 \cdot k_2 + a_3 \cdot k_3 + a_4 \cdot k_4 + a_5 \cdot k_5$, где $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 = 1$; коэффициенты a_1 – a_5 выбирают в зависимости от целей разработки (приоритет дебита, ограничения по затратам или минимизация рисков).

Таблица 1. Сравнение технологических параметров.

Параметр	Ед.	Одностадийный	Многостадийный
Длина стимулируемого интервала	м	100–400	800–2500
Число стадий	шт.	1	10–40
Кластеры в стадии	шт.	2–6	3–6
Шаг кластеров	м	20–60	8–20
Типичная проблема	—	ограниченный охват	эффект тени напряжений, снижение эффективности кластеров

Примечание: диапазоны приведены как типовые по открытым публикациям и практическим каталогам оборудования. [6]

Обсуждение влияния геомеханики и дизайна стадий

Ключевое отличие многостадийного ГРП связано с взаимодействием одновременно или последовательно растущих трещин. Эффект тени напряжений приводит к изменению поля напряжений между соседними трещинами и может как увеличивать сложность сети, так и подавлять

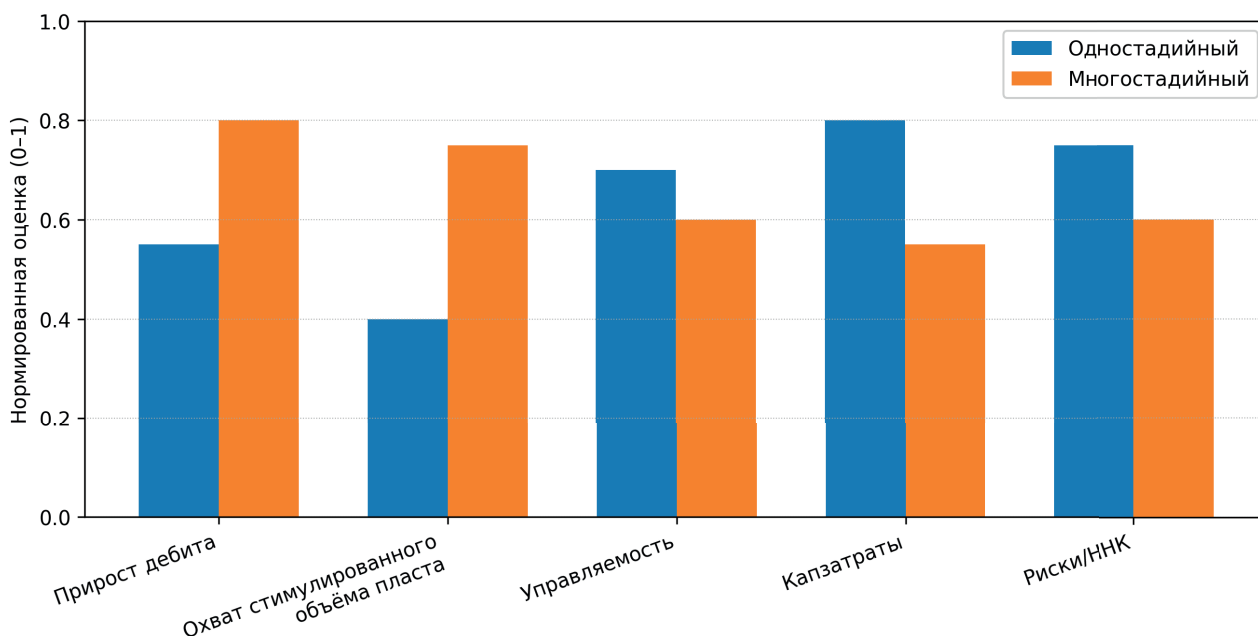
раскрытие части кластеров, снижая равномерность распределения проппанта. Чувствительными параметрами являются вертикальная неоднородность минимального горизонтального напряжения и выбранный шаг кластеров; в ряде случаев оптимизация требует моделирования и калибровки по диагностике (распределённые акустические измерения, микросейсмический мони-

торинг, диагностический тест падения давления).

Для одностадийной обработки геомеханическое взаимодействие трещин обычно слабее из-за меньшего числа активных источников, что повышает воспроизводимость результата. Однако

ограниченный охват вдоль латерали приводит к недоиспользованию потенциала горизонтального ствола, особенно в неоднородных коллекторах. [6]

Рисунок 2. Сравнение нормированных показателей эффективности (примерная оценка).



Выводы

1) Многостадийный ГРП обеспечивает более высокий охват стимулированного объёма пласта и, как правило, больший устойчивый прирост добычи по сравнению с одностадийной обработкой, что особенно важно для низкопроницаемых коллекторов.

2) Цена повышения охвата - рост сложности и требований к качеству исполнения: выбор длины стадий, плотности кластеров, ограничение вли-

яния эффекта тени напряжений и контроль распределения проппанта критичны для сохранения эффективности кластеров. [2; 6]

3) Одностадийный ГРП остаётся рациональным решением при коротких латералиях, ограничениях по инфраструктуре, необходимости точечного воздействия или при высокой неопределённости модели пласта, когда предпочтительнее минимизировать риски и стоимость эксперимента. [6]

Список литературы:

[1] Ян Цз., Сун Цз., Ван Ю. Влияние эффекта тени напряжений при многостадийном гидроразрыве в плотных коллекторах: численный анализ с учётом шага кластеров и последовательности разрыва // Геомеханика и геофизика георесурсов. 2024. Т. 10. Статья 183.

[2] Сингх А., Зобак М., Маккьюр М. Оптимизация многостадийного гидроразрыва в нетрадиционных коллекторах с учётом изменения напряжений по глубине: доклад Общества инженеров-нефтяников. 2020.

[3] Нгуен Х. Т., Ли Ч. Х., Эльраис К. А. Обзор моделирования гидравлических трещин типа Пикей-Эн // Журнал нефтяной науки и инженерии. 2020. Т. 195. Статья 107607.

[4] Крессе О., Вэн С., Гу Х., У Ж. Численное моделирование взаимодействия гидравлических трещин в сложных естественно-трещиноватых породах // Механика горных пород и инженерная геология. 2013. Т. 46. С. 555–568.

[5] Шах М. С., Шах С. Н. Сравнительная оценка механических и химических методов перераспределения рабочей жидкости при гидроразрыве в горизонтальных скважинах // Нефтяная наука. 2023. Т. 20(6). С. 3582–3597.

[6] Бейкер Хьюз. Многостадийное заканчивание горизонтальных скважин: технологический каталог оборудования. Хьюстон: Бейкер Хьюз, 2023. 64 с.

[7] Экономидес М. Дж., Нолте К. Г. Стимулирование продуктивности пластов. 3-е изд. Хобокен: Издательство «Уайли», 2000. 856 с.

References:

- [1] Yang Z., Song Z., Wang Y. Effect of stress shadow effect on multistage hydraulic fracturing in tight reservoirs: Numerical analysis considering cluster spacing and fracture sequence // *Geomechanics and Geophysics of Georesources*. 2024. Vol. 10. Article 183.
- [2] Singh A., Zoback M., McClure M. Optimization of multistage hydraulic fracturing in unconventional reservoirs considering stress-depth variation: Report of the Society of Petroleum Engineers. 2020.
- [3] Nguyen H. T., Lee C. H., Elrais K. A. Review of modeling of PKN-type hydraulic fractures // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2020. Vol. 195. Article 107607.
- [4] Kresse O., Wen S., Gu H., Wu J. Numerical Modeling of Hydraulic Fracture Interaction in Complex Naturally Fractured Rocks // *Rock Mechanics and Engineering Geology*. 2013. Vol. 46. pp. 555–568.
- [5] Shah M. S., Shah S. N. Comparative Evaluation of Mechanical and Chemical Methods of Working Fluid Redistribution during Hydraulic Fracturing in Horizontal Wells // *Petroleum Science*. 2023. Vol. 20(6). pp. 3582–3597.
- [6] Baker Hughes. *Multistage Horizontal Well Completions: A Technology Catalog of Equipment*. Houston: Baker Hughes, 2023. 64 pp.
- [7] Economides M.J., Nolte K.G. *Stimulating Reservoir Productivity*. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2000. 856 p.



Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, E-Library.

ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Дата поступления рукописи в редакцию: 31.01.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-124-129

ГОТВАЛЬД Елена Дмитриевна,

магистрант,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

e-mail: lena.gotvald@icloud.com

ЗАЙЦЕВА Софья Павловна,

студент,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

e-mail: sfmshlkn@gmail.com

КАЗАКОВА Елизавета Дмитриевна,

студент,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

e-mail: elizaveta.kazakova@mail.ru

ТЮТЮНЬКОВА Маргарита Викторовна,

кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

e-mail: tyutyunkova82@mail.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КОНДИТЕРСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация. Данная научная статья посвящена решению актуальной экологической проблемы — очистке сточных вод кондитерских предприятий. Эти стоки характеризуются сложным составом, включающим высокие концентрации органических веществ, сахаров, жиров и других биоразлагаемых загрязнителей, которые при сбросе в водоемы наносят значительный ущерб водным экосистемам. Авторы подчеркивают, что, вопреки устоявшемуся мнению о малой опасности, такие стоки способны вызывать эвтрофикацию, критическое снижение концентрации растворенного кислорода и нарушать биологическое равновесие. Особое внимание уделяется характеристикам этих сточных вод, в частности, их неравномерному режиму сброса и периодическим залповым выбросам высокой концентрации, что существенно осложняет процесс очистки. В качестве решения предлагается разработанная авторами комплексная технологическая схема очистки производительностью 4400 м³/сутки, которая интегрирует механические, физико-химические и биологические методы. Детально описан многоступенчатый процесс, начинающийся с механической решетки и включающий такие ключевые этапы, как азрируемая жироловушка, преаэратор с горизонтальным отстойником, двухступенчатая флотация, каркасно-засыпной фильтр и финальное ультрафиолетовое обеззараживание. В работе представлены подробные расчеты эффективности очистки на каждом этапе по ключевым показателям (химическое потребление кислорода, биохимическое потребление кислорода, взвешенные вещества, жиры, анионные поверхностно-активные вещества, азотные и фосфорные соединения). Результаты демонстрируют, что предлагаемая схема обеспечивает снижение концентраций всех нормируемых загрязнений до уровней, строго соответствующих предельно допустимым концентрациям для водоемов рыбохозяйственного назначения. Таким образом, научная и практическая ценность работы заключается в обосновании высокоэффективной технологической схемы, направленной на минимизацию антропогенной нагрузки и обеспечение соблюдения жестких экологических стандартов.

Ключевые слова: очистка сточных вод, кондитерские предприятия, технологическая схема, предельно допустимая концентрация рыбохозяйственных водоемов, методы очистки, сток, эффективность очистки, загрязняющие вещества.

GOTVALD Elena Dmitrievna,

master's student,

Bauman Moscow State Technical University

ZAITSEVA Sofia Pavlovna,

student,

Bauman Moscow State Technical University

KAZAKOVA Elizaveta Dmitrievna,
student,
Bauman Moscow State Technical University

TYUTYUNKOVA Margarita Viktorovna,
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department,
Bauman Moscow State Technical University

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL SCHEME FOR TREATMENT OF WASTE WATER OF CONFECTIONERY ENTERPRISES

Annotation. *This scientific article is devoted to solving an urgent environmental problem - wastewater treatment of confectionery enterprises. These effluents are characterized by a complex composition involving high concentrations of organic matter, sugars, fats, and other biodegradable pollutants that cause significant damage to aquatic ecosystems when discharged into bodies of water. The authors emphasize that, contrary to the established opinion of low danger, such effluents can cause eutrophication, a critical decrease in the concentration of dissolved oxygen and disrupt the biological equilibrium. Particular attention is paid to the characteristics of these wastewater, in particular, their uneven discharge regime and periodic volley emissions of high concentration, which significantly complicates the treatment process. As a solution, the complex technological scheme of purification developed by the authors with a capacity of 4400 m³/day, which integrates mechanical, physicochemical and biological methods, is proposed. A multi-stage process is described in detail, starting with a mechanical lattice and including such key stages as an aerated fat trap, a preaerator with a horizontal settler, two-stage flotation, a frame-backfill filter and a final ultraviolet disinfection. Detailed calculations of the purification efficiency at each stage are presented for key indicators (chemical oxygen consumption, biochemical oxygen consumption, suspended solids, fats, anionic surfactants, nitrogen and phosphorus compounds). The results demonstrate that the proposed scheme reduces the concentrations of all regulated contaminants to levels strictly corresponding to the maximum permissible concentrations for fishery water bodies. Thus, the scientific and practical value of the work lies in the justification of a highly effective technological scheme aimed at minimizing anthropogenic load and ensuring compliance with strict environmental standards.*

Key words: *wastewater treatment, confectionery enterprises, technological scheme, maximum permissible concentration of fishery water bodies, treatment methods, runoff, treatment efficiency, pollutants.*

Введение

Длительное время считалось, что сточные воды от кондитерских предприятий малоопасные, но на данный момент известно, что стоки кондитерских заводов могут содержать большое количество остатков продуктов. Основную экологическую проблему представляют органические компоненты сточных вод, которые при попадании в водоемы провоцируют интенсивное размножение бактерий и микроорганизмов. Этот процесс приводит к серии негативных экологических последствий:

- активный рост водной растительности (эвтрофикация);
- значительное снижение концентрации растворенного кислорода;
- нарушение биологического равновесия водных экосистем;
- накопление токсичных продуктов анаэробного разложения.

Многочисленные исследования подтверждают, что для кондитерских производств характерен неравномерный режим сброса сточных вод с периодическими залповыми выбросами высокой концентрации. Анализ показывает, что примерно

50% всего объема стоков содержат повышенные концентрации жиров и органических соединений, что существенно осложняет процесс их очистки [1].

Очистка сточных вод кондитерских является актуальной, так как выбросы сточных вод без должного очищения могут нанести значительный вред окружающей среде, загрязняя водные экосистемы, воздух и почву. Это может привести к ухудшению качества воды, гибели растений и животных, а также к проблемам для здоровья людей.

Очистка сточных вод кондитерской необходима для предотвращения загрязнения окружающей среды, сохранения ресурсов воды и соблюдения экологических норм и стандартов. Стоки, выходящие из кондитерских предприятий, содержат различные загрязнения, такие как органические вещества, сахара, жиры, муку, пенообразователи и др. Они могут негативно повлиять на качество водоемов, почву и биоразнообразие, если попадут в природные водоемы без предварительной очистки.

Целесообразность и эффективность очистки сточных вод кондитерской может быть достиг-

нута с использованием соответствующих технологий очистки, а также регулярным контролем и мониторингом качества сточных вод.

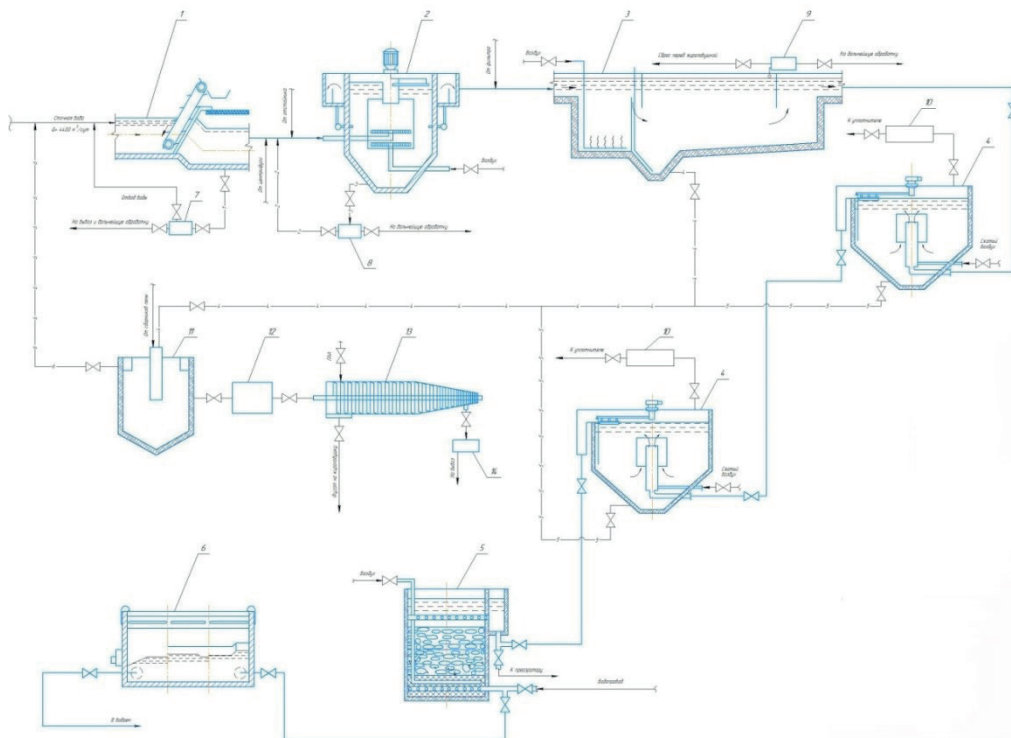
Целью данной статьи является разработка технологической схемы очистки сточных вод предприятий по производству кондитерских изделий.

Объектом исследования является загрязнение сточных вод кондитерского производства.

Обоснование разрабатываемой технологической схемы очистки сточных вод кондитерского производства

На рисунке 1 представлена разработанная технологическая схема для кондитерского предприятия производительностью 4400 м³/сутки. В основу проектного решения положены наиболее эффективные и апробированные методы очистки, обеспечивающие стабильное достижение нормативных показателей сброса.

Рисунок 1. Технологическая схема очистки сточных вод кондитерского производства.



1 – механическая решетка; 2 – аэрируемая жироловушка;

3 – преаэратор с горизонтальным отстойником; 4 – напорный флотатор; 5 – каркасно-засыпной фильтр; 6 – установка УФ обеззараживания; 7 – сборник после механической решетки;

8 – сборник после аэрируемой жироловушки; 9 – разделительный колодец; 10 – пеносорбник; 11 – осадкоуплотнитель;

12 – сборник осадка; 13 – центрифуга; 14 – сборник после центрифуги

Схема включает многоступенчатую систему обработки, адаптированную к специфическому составу сточных вод кондитерского производства и учитывающую особенности технологического процесса [2; 3; 4].

Исходная сточная вода поступает на механическую решетку, где очищается от наиболее крупных примесей. Далее сточная вода направляется в аэрируемую жироловушку, затем поступает в преаэратор, после направляется в горизонтальный отстойник, основным предназначением которого является очистка сточных вод от механических частиц. Далее вода последовательно проходит флотатор I ступени, флотатор II ступени, где происходит снижение показателей ХПК, БПК и жиров. После очистки на флотаторах,

сток подается на каркасно-засыпной фильтр, где удаляется остаточное содержание в воде АПАВ и БПК. Финальной стадией технологического процесса является обеззараживание на установке УФ-обработки. Ультрафиолетовое излучение эффективно уничтожает патогенную микрофлору, обеспечивая соответствие очищенной воды строгим санитарно-гигиеническим нормативам перед ее сбросом в водоем рыбохозяйственного назначения.

В разработанной схеме сброс очищенной воды производится в водоем (река). Для этого учитывается предельно допустимая концентрацию рыбохозяйственного назначения (ПДК_{рыб.хоз.}) [5]. Концентрации веществ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Концентрация загрязняющих веществ, поступающих на очистку и ПДК.

Показатель	Концентрация загрязнения, мг/л	ПДК _{рыб.хоз.} мг/л [6]
Взвешенные вещества	447	10,0
АПАВ	1	0,5
ХПК	800	30
БПК	200	3
рН	7,1	6,0-9,0
Жиры	50	3
Нитраты	14	9
Фосфат-ион	1,23	0,2
Нитриты	0,096	0,2
Аммоний-ион	4,5	0,5

Степень очистки Э, % определяют по формуле (1):

$$\text{Э} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

Из формулы (1) получаем формулу (2):

$$C_2 = \left(1 - \frac{\text{Э}}{100\%}\right) \cdot C_1, \quad (2)$$

где C_1 - концентрация загрязнителя в сточной воде до очистки, мг/л;

C_2 - концентрация загрязнителя в сточной воде после очистки, мг/л.

Результаты эффективности работы сооружений схемы очистки сточных вод кондитерского производства

Расчет эффективности работы сооружений схемы очистки сточных вод кондитерского производства приведен в таблице 2.

Таблица 2. Эффективность работы сооружений схемы очистки сточных вод кондитерского производства.

Сооружение	Показатель	% очистки	C_1 , мг/л	C_2 , мг/л
Механическая решетка	Взвешенные вещества	5%	447	424,65
	Жиры	80%	50	10
Аэрируемая жиroleвушка	Взвешенные вещества	40%	424,65	254,79
	АПАВ	40%	1	0,6
	ХПК	10%	800	720
	Жиры	80%	50	10
Преаэратор с горизонтальным отстойником	Взвешенные вещества	70%	254,79	76,43
	БПК	40%	200	120
	ХПК	30%	720	504
Флотатор I	Взвешенные вещества	95%	76,43	3,82
	Жиры	90%	10	1
	БПК	80%	120	24
	ХПК	80%	504	100,8
	Нитраты	90%	14	1,4
	Фосфат-ион	90%	1,23	0,123
	Аммоний-ион	90%	4,5	0,45

Флотатор II	БПК	80%	24	4,8
	ХПК	80%	100,8	20,16
Каркасно-засыпной фильтр	АПАВ	70%	0,6	0,18
	БПК	40%	4,8	2,88

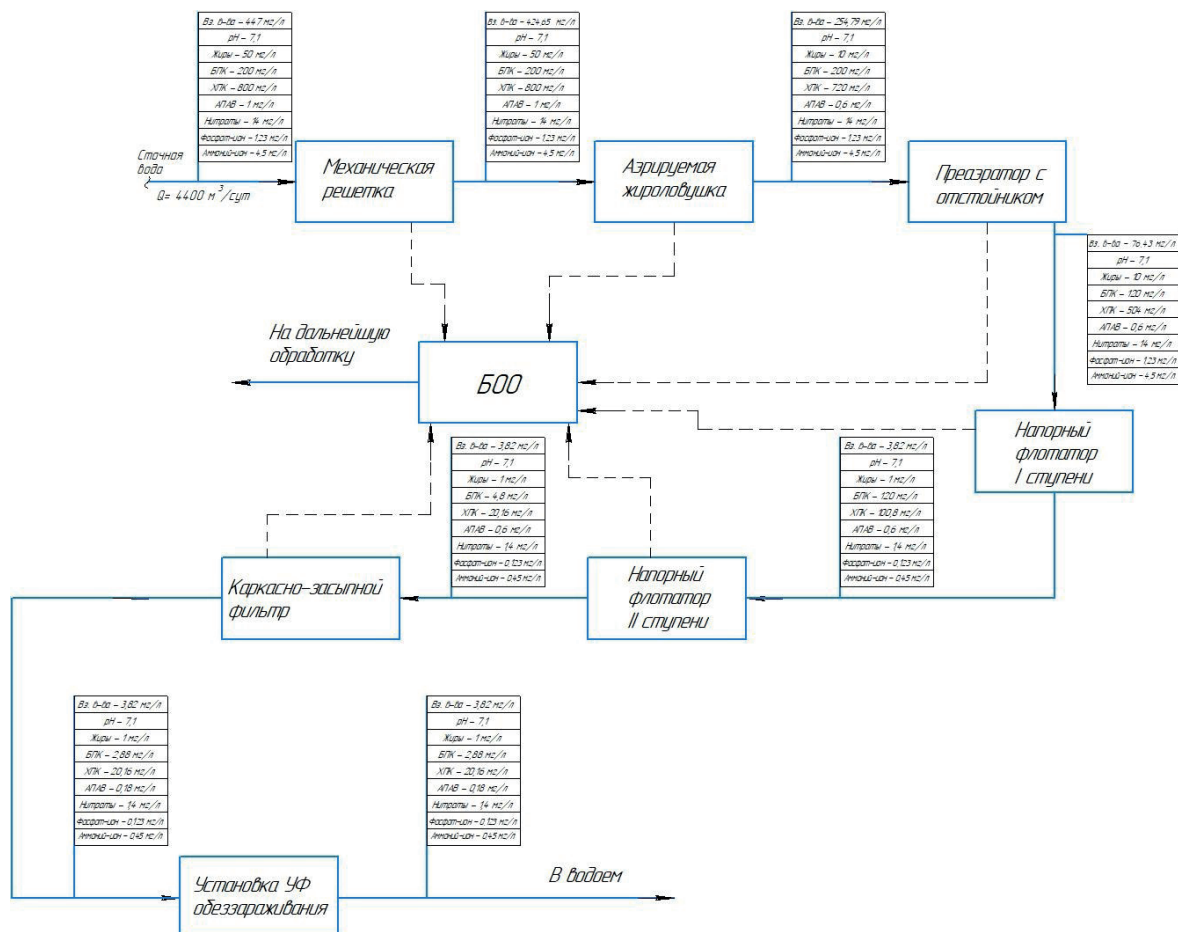
Сравнение результатов очистки сточных вод ПДК_{рыб.хоз.} представлено в таблице 3. разработанной схемы с требованием сброса

Таблица 3. Сравнение результатов очистки сточных вод разработанной схемы с требованием сброса ПДК_{рыб.хоз.}

Показатель	Результат очистки, мг/л	ПДК _{рыб.хоз.1} мг/л [6]
Взвешенные вещества	3,82	10,0
АПАВ	0,18	0,5
ХПК	20,16	30
БПК	2,88	3
рН	7,1	6,0-9,0
Жиры	1	3
Нитраты	1,4	9
Фосфат-ион	0,123	0,2
Нитриты	0,096	0,2
Аммоний-ион	0,45	0,5

На рисунке 2 представлена блок-схема эффективности работы сооружений.

Рисунок 2. Блок-схема очистки сточных вод разработанной схемы.



Из данных таблицы 3 и рисунка 2 можно сделать вывод о том, что подобранные сооружения обеспечивают эффективную очистку сточной воды до ПДК_{рыб.хоз.}

Заключение

На основании анализа состава сточных вод кондитерского производства и проведенного аналитического исследования применяемых методов очистки, технологических схем, самостоятель-


но разработана технологическая схема очистки сточных вод кондитерского производства. Приведено описание принципа работы технологической схемы. В представленном обосновании разрабатываемой технологической схемы приведены расчеты эффективности очистки сточных вод, демонстрирующие соответствие очищенной воды установленным нормам ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Список литературы:

- [1] Скобельская З.Г., Горячева Г.Н. Технология производства сахарных кондитерских изделий. — СПб : Лань, 2023. — 428 с.
- [2] Преаэратор для очистки сточных вод // URL: <https://www.vo-da.ru/articles/preaerator>. (дата обращения: 12.11.2025).
- [3] Расчет флотационной установки // URL: https://vuzlit.com/766260/raschet_flotacionnoy_ustanovki (дата обращения: 12.11.2025).
- [4] Расчёт аэрируемой жировушки // URL: <https://studfile.net/preview/2659609/page:2/> (дата обращения: 15.11.2025).
- [5] Яковлева О.В. Системы обеспечения техносферной безопасности. — Калуга : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. — 51 с.
- [6] Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

References:

- [1] Skobelskaya Z.G., Goryacheva G.N. Technology of production of sugar confectionery products. - St. Petersburg: Lan, 2023. - 428 p.
- [2] Pre-aerator for wastewater treatment // URL: <https://www.vo-da.ru/articles/preaerator>. (date of access: 12.11.2025).
- [3] Calculation of a flotation unit // URL: https://vuzlit.com/766260/raschet_flotacionnoy_ustanovki (date of access: 12.11.2025).
- [4] Calculation of an aerated grease trap // URL: <https://studfile.net/preview/2659609/page:2/> (date of access: 15.11.2025).
- [5] Yakovleva O.V. Systems for ensuring technosphere safety. — Kaluga: Bauman Moscow State Technical University, 2019. — 51 p.
- [6] Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 No. 552 «On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance.»



ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ» издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.

ХОХРЯКОВ Никита Александрович,
магистрант,
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
e-mail: Nikit4.khokhriakov@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DYNAMO В REVIT

Аннотация. В статье рассматривается методика автоматизированного определения объемов лакокрасочных материалов, необходимых для антикоррозионной защиты стальных трубопроводов систем отопления, на основе данных информационной модели здания (BIM). Разработанный инструмент, реализованный в среде визуального программирования Dynamo для платформы Autodesk Revit, автоматически выполняет фильтрацию элементов трубопроводов по категориям, материалам и пользовательским параметрам, вычисляет площадь их внешней поверхности с учётом диаметра, длины и конфигурации, а затем формирует структурированный отчёт. В работе подробно описаны архитектура скрипта, функции ключевых узлов Dynamo, алгоритмы расчёта и логика взаимодействия с моделью, а также реализация простого пользовательского интерфейса для настройки и вывода итоговых результатов. Приведены конкретные примеры применения данного решения в реальных проектах административных зданий. В заключении проводится анализ преимуществ предложенной методики по сравнению с ручными расчётами. Автоматизация процесса позволяет существенно снизить трудозатраты инженеров-проектировщиков и сметчиков, повысить точность расчетов, минимизировать человеческий фактор и связанные с ним ошибки при составлении спецификаций, а также обеспечить прямую связь между изменениями в проекте и актуальным расходом материалов. Разработанный подход демонстрирует потенциал использования BIM-технологий не только для проектирования, но и для решения прикладных инженерно-экономических задач на всех этапах жизненного цикла объекта.

Ключевые слова: BIM, Revit, Dynamo, автоматизация, инженерный расчет, лакокрасочные материалы, информационное моделирование.

KHOKHRYAKOV Nikita Alexandrovich,
master's student,
Ural Federal University
named after the first President of Russia B. N. Yeltsin

AUTOMATION OF PAINT AND VARNISH MATERIAL CALCULATION FOR PIPELINES USING DYNAMO IN REVIT

Annotation. The article discusses a methodology for the automated determination of paint and varnish material volumes required for the anti-corrosion protection of steel pipelines in heating systems, based on Building Information Modeling (BIM) data. The developed tool, implemented in the Autodesk Dynamo visual programming environment for the Autodesk Revit platform, automatically filters pipeline elements by categories, materials, and user-defined parameters, calculates their external surface area taking into account diameter, length, and configuration, and then generates a structured report. The work details the script architecture, the functions of key Dynamo nodes, calculation algorithms and model interaction logic, as well as the implementation of a simple user interface for configuration and output of final results. Specific examples of applying this solution in real administrative building projects are provided. The conclusion provides an analysis of the advantages of the proposed methodology compared to manual calculations. Process automation significantly reduces labor costs for design engineers and estimators, increases calculation accuracy, minimizes the human factor and associated errors in specification preparation, and ensures a direct link between design changes and current material consumption. The developed approach demonstrates the potential of using BIM technologies not only for design but also for solving applied engineering and economic tasks at all stages of an object's life cycle.

Key words: BIM, Revit, Dynamo, automation, engineering calculation, paint and varnish materials, information modeling.

1. Введение

Точный расчёт используемых материалов, в частности лакокрасочных материалов (ЛКМ) для антикоррозионной защиты трубопроводов, является критически важной и ресурсоёмкой задачей в проектировании инженерных систем. Традиционные методы, основанные на ручных измерениях по чертежам, подвержены ошибкам и становятся неэффективными при частых изменениях проекта. BIM-технологии предоставляют принципиально иной подход, позволяя извлекать геометрические и атрибутивные данные непосредственно из информационной модели [3]. Однако практическая реализация такого подхода упирается в ограничения программного обеспечения. В Autodesk Revit, являющемся отраслевым стандартом, существует ряд ограничений: на один трубопровод или отвод может быть назначен только один слой изоляционного материала. Это делает невозможным прямое моделирование многослойных покрытий (например, «грунтовка + краска») [7] стандартными средствами программы, что и составляет ключевую проблематику, решаемую в данной работе. В статье представлен метод обхода этого ограничения с помощью среды визуального программирования Dynamo [1], позволяющий осуществить наиболее точный автоматизированный расчёт ЛКМ на основе данных BIM-модели.

2. Обзор инструментов и постановка проблемы

2.1. Связка Revit-dynamo как платформа для автоматизации

Autodesk Revit — это параметрическое BIM-решение, где каждый элемент модели (включая трубопроводы) обладает набором геометрических и негеометрических данных (параметров) [4]. Dynamo — это открытая среда визуального программирования, интегрированная в Revit, позволяющая создавать алгоритмы для чтения, анализа, модификации и создания данных модели без написания кода на традиционных языках программирования. Она идеально подходит для решения задач автоматизации, не предусмотренных базовым функционалом Revit.

2.2. Проблема учёта многослойных покрытий в Revit

В Revit для тепловой и противопожарной изоляции труб предусмотрен специальный инструмент – категория «Материал изоляции труб» (Pipe Insulation). Его логика предполагает наличие у элемента одного типа изоляции с определённой толщиной. Попытка добавить вторую изоляцию к тому же элементу приводит к замене существующей. Таким образом, смоделировать грунтовку и краску как два отдельных «слоя» изоляции штатными средствами невозможно. Это вынуждает проектировщиков либо вести учёт ЛКМ полностью вручную во внешних таблицах (что разрывает

связь с моделью), либо использовать костыльные решения, например, создание отдельной категории элементов, что нарушает логику модели и усложняет её [4].

3. Методика и алгоритм автоматизированного расчёта

Разработанное решение предлагает обойти ограничение не через попытку физического моделирования слоёв, а через атрибутивный учёт на основе вычислений [5]. Алгоритм не создаёт новых геометрических объектов категорией «Материал изоляции труб» (Pipe Insulation), а рассчитывает требуемые объёмы материалов и записывает их в пользовательские параметры элементов или выводит в сводный отчёт.

3.1. Логическая структура алгоритма

Скрипт Dynamo реализует следующий последовательный процесс:

1. Идентификация целевых элементов: Выборка из BIM-модели всех элементов категории «Трубы» и «Соединительные детали трубопроводов» (отводы).

2. Фильтрация по материалу и назначению: Последовательное применение масок (boolean mask) для отбора только тех элементов, которые выполняются из металла и требуют покраски согласно проекту [6]. Фильтрация осуществляется по анализу строковых значений в параметрах, таких как «ADSK_Материал», «Комментарии к типоразмеру».

3. Извлечение геометрических данных: Для каждого отфильтрованного элемента извлекаются ключевые для расчёта площади параметры:

- Для прямых участков труб: «Наружный диаметр» (D) и «Длина» (L).

- Для отводов: «Наружный диаметр» (D) и «Угол загиба» (α). Расчётная длина кривой изгиба аппроксимируется.

4. Расчёт площади внешней поверхности. Выполняются отдельные вычисления для труб и отводов по формулам, зашитым в узлы «Code Block»:

- Площадь трубы: $S_{\text{трубы}} = (\pi * D * L) / 1,000,000$. Деление на 1,000,000 является операцией перевода миллиметров (стандартные единицы Revit) в метры.

- Площадь отвода: $S_{\text{отвода}} = (\pi * D * \alpha) / 90$. Формула вычисляет площадь сектора цилиндрической поверхности для заданного угла.

5. Расчёт объёмов лакокрасочных материалов. На основе суммарной площади (ΣS) вычисляются объёмы:

- Объём грунтовки: $V_{\text{гр}} = ((\Sigma S * \text{Норма_расхода_гр}) / 1000) / \text{Плотность_гр}$. Норма расхода грунтовки и плотность грунтовки принимается согласно техническому паспорту материала, выданного заказчиком.

- Объём краски: $V_{\text{кр}} = ((\Sigma S * \text{Норма_расхода_кр}) / 1000) / \text{Плотность_кр}$. Норма расхода краски и плотность краски принимается согласно

техническому паспорту материала, выбранного заказчиком.

6. Визуализация расчета:

Итоговые объёмы выводятся в модальном окне, созданном с помощью скрипта на «IronPython», что обеспечивает наглядность для пользователя [2].

7. Запись результата: Рассчитанные значения могут быть записаны обратно в модель. В скрипте для этого используются узел «Element.SetParameterByName». В пользовательские параметры элементов (например, «ADSK_Краска» и «ADSK_Грунтовка») или в параметры специально созданных элементов-маркеров записываются вычисленные объёмы. Это позволяет в дальнейшем автоматически формировать ведомости материалов средствами Revit на основе этих параметров, тем самым полностью интегрируя расчёт в BIM-процесс [5].

3.2. Ключевые узлы Dynamo в реализации

Для реализации описанной логики были использованы как стандартные, так и пользовательские пакеты узлов:

- «Elements of Category» и «Category.ByName» - Для первичной выборки элементов по категориям «Трубы» и «Соединительные детали трубопроводов».

- «Element.GetParameterValueByName» - Базовый узел для чтения любых параметров элементов модели.

- «String.Contains» и «List.FilterByBoolMask» - центр логики фильтрации. Первый узел проверяет наличие подстрок («сталь», «металл») в значениях параметров и возвращает логическую маску. Второй узел разделяет исходный список элементов на два: соответствующие и не соответствующие условию.

- «Code Block» - Универсальный узел для написания выражений на DesignScript. Использован для хранения строк-констант (имена параметров), логических операций («||» — «или») и математических формул для расчёта площадей и объёмов.

- «Math.Sum» и «List.LastItem» - Для агрегации данных (суммирование площадей, извлечение итогового значения).

- «Пользовательские узлы из пакетов «MEPover» и

«archi-lab.net» - Использовались для вспомогательных операций (например, работа с типами изоляции), демонстрируя расширяемость решения за счёт библиотек сообщества [5].

4. Пример практического применения на реальном объекте

Для валидации методики плагин был применён на фрагменте BIM-модели системы отопления пятиэтажного административного здания.

4.1. Исходные данные модели

В анализируемом фрагменте смоделирована вертикальная двухтрубная стояковая разводка с

поэтажными отводами. Модель содержала:

- Стальные электросварные трубы Ду25-50, длиной ~120 м.

- Стальные отводы (90° и 45°) в количестве 38 шт.

- Параметры «ADSK_Материал» и «Комментарии к типоразмеру» были заполнены в соответствии с проектом, что обеспечило корректную работу фильтров скрипта.

4.2. Процесс выполнения расчёта

1. Пользователь открывает файл Dynamo скрипта (.dyn) в сессии Revit с загруженной моделью.

2. Запускается выполнение. Скрипт последовательно:

- Выбирает 156 элементов категорий труб и соединений.

- Применяя цепочку фильтров, отсеивает пластиковые элементы и оставляет 120 стальных элементов (82 трубы, 38 отводов).

- Для каждого элемента читает диаметр, длину или угол.

- Вычисляет суммарную площадь окрашиваемой поверхности, которая составила 63,7 м².

3. На основе площади рассчитываются объёмы:

- Грунтовка ГФ-021: 0,0084 м³.

- Краска (масляно-битумное покрытие БТ-177): 0,0049 м³.

4. Результаты отображаются в диалоговом окне с заголовком «Успех!».

5. Вывод по полученным результатам

Точность: Расчёт, основанный на точных геометрических данных модели, исключает ошибки округления и пропусков, присущие ручным методам. Любое изменение диаметра или длины трубы в модели автоматически повлечёт за собой пересчёт объёмов ЛКМ при следующем запуске скрипта.

Производительность: Время выполнения скрипта на указанной модели не превысило 15 секунд. При ручном подсчёте по чертежам аналогичная работа заняла бы у инженера не менее 15–20 минут.

Согласованность данных: Поскольку итоговые объёмы записываются в параметры элементов модели, они становятся доступны для любой спецификации или отчёта Revit. Это создаёт «единый источник данных»: сметчик получает данные напрямую из актуальной модели, а не из отдельного, возможно, устаревшего файла Excel.

Масштабируемость: Методика доказала свою эффективность не только на стояке, но и при расчёте всей системы отопления здания (более 2000 элементов), где экономия времени составила уже несколько часов.

6. Заключение

Представленное решение успешно обходит ограничение платформы Autodesk Revit в части

учёта многослойных изолирующих материалов за счёт применения атрибутивного, а не геометрического моделирования материалов. Разработанный скрипт Dynamo выполняет корректный автоматизированный расчёт лакокрасочных материалов для трубопроводов, интегрируя его результаты непосредственно в информационную BIM-модель через пользовательские параметры. Это обеспечивает существенный выигрыш в скорости, точности и согласованности данных на всех этапах проектирования и подготовки смет-

ной документации.


Перспективы развития методики видятся в следующих направлениях: адаптация алгоритма для расчёта других типов покрытий и изоляций (огнезащита, цинкование, клеевые составы); создание библиотеки норм расхода, привязанной к типам материалов и условиям эксплуатации; разработка универсального интерфейса для настройки параметров расчёта без редактирования скрипта Dynamo.

Список литературы:

- [1] Официальная документация по Autodesk. *Dynamo Primer*. – URL: <https://primer.dynamobim.org> (дата обращения: 02.01.2026)
- [2] Официальная документация по Autodesk Revit API. – URL: <https://www.revitapidocs.com> (дата обращения: 02.01.2026)
- [3] Колесников, А.А., Меренкова, И.Н. Автоматизация проектных работ на основе технологии информационного моделирования (BIM) // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 2. – С. 154-165.
- [4] Турков, В.В. BIM-технологии в проектировании инженерных систем: от модели к данным / В.В. Турков, А.С. Леонтьев. – М.: Инфра-Инженерия, 2022. – 312 с.
- [5] Соколов, А.В., Петров, Д.С. Разработка алгоритмов для Dynamo Revit при проектировании инженерных систем // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – № 3. – С. 45-52.
- [6] ГОСТ 25129-82*. Трубы стальные. Технические условия.
- [7] СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003.

References:

- [1] Official Autodesk Documentation. *Dynamo Primer*. – URL: <https://primer.dynamobim.org> (date accessed: 02.01.2026)
- [2] Official Autodesk Revit API Documentation. – URL: <https://www.revitapidocs.com> (date accessed: 02.01.2026)
- [3] Kolesnikov, A.A., Merenkova, I.N. Automation of design work based on information modeling (BIM) technology // Bulletin of MGSU. – 2021. – Vol. 16, No. 2. – P. 154-165.
- [4] Turkov, V.V. BIM technologies in the design of engineering systems: from model to data / V.V. Turkov, A.S. Leontiev. – M.: Infra-Engineering, 2022. – 312 p.
- [5] Sokolov, A.V., Petrov, D.S. Development of algorithms for Dynamo Revit in the design of engineering systems // Information technologies in design and production. – 2022. – No. 3. – pp. 45-52.
- [6] GOST 25129-82*. Steel pipes. Specifications.
- [7] SP 61.13330.2012 «Thermal insulation of equipment and pipelines». Updated version of SNiP 41-03-2003.



ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ» издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.

Дата поступления рукописи в редакцию: 31.01.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.
DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-134-137

ДЕНИСЕНКО Мария Юрьевна,
магистр,
Белгородский государственный аграрный
университет имени В.Я. Горина,
e-mail: novenkoe03@mail.ru

ЕРОХИНА Светлана Алексеевна,
магистр,
Белгородский государственный аграрный
университет имени В.Я. Горина,
e-mail: erohinas26@yandex.ru

ЛОБЫНЦЕВА Ирина Николаевна,
магистр,
Белгородский государственный аграрный
университет имени В.Я. Горина,
e-mail: irina1990kpek@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА СОСИСОК С НАПОЛНИТЕЛЕМ

Аннотация. Технология производства сосисок с наполнителем в виде кетчупа или горчицы охватывает инновационные методы создания мясных продуктов, которые отвечают современным требованиям потребителей. В ходе исследования рассматриваются основные этапы производства сосисок с использованием наполнителей, таких как кетчуп и горчица, что придаёт изделиям уникальные вкусовые и ароматические качества.

Анализ технологического процесса позволяет выявить преимущества использования натуральных наполнителей, таких как кетчуп и горчица, которые не только усиливают вкус, но и обогащают продукт питательными веществами.

Ключевые слова: вареные колбасные изделия, наполнитель, мясной фарш, куттерование.

DENISENKO Maria Yurievna,
master,
Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin

EROKHINA Svetlana Alekseevna,
master,
Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin

LOBYNTSEVA Irina Nikolaevna,
master,
Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin

TECHNOLOGICAL PROCESS FOR PRODUCING SAUSAGES WITH FILLER

Annotation. The technology of sausage production with a filler in the form of ketchup or mustard covers innovative methods of creating meat products that meet modern consumer requirements. The study examines the main stages of sausage production using fillers such as ketchup and mustard, which gives the products unique taste and aromatic qualities.

The analysis of the technological process makes it possible to identify the advantages of using natural fillers such as ketchup and mustard, which not only enhance the taste, but also enrich the product with nutrients.

Key words: boiled sausages, filling, minced meat, cooking.

Производство сосисок с наполнителями способствует развитию ассортимента мясных изделий на российском рынке [5, с. 663].

Производство сосисок с наполнителем в виде начинки начинается с подготовки мясного сырья, его измельчения и посола, после чего происходит смешивание с наполнителями. Технология наполнения играет ключевую роль, обеспечивая равномерное распределение кетчупа или горчицы в готовом продукте. Применение современных куттеров и вакуумной упаковки способствует улучшению текстуры и продлению срока годности сосисок.

Состав наполнителя – это многокомпонентная смесь, включающая в себя основу (кетчуп, горчицу либо соус), воду, соль и комплексную пищевую добавку. Эта добавка выполняет несколько важных задач:

- Вкусо-ароматическая функция: придает вкус и аромат за счет эфирных масел, олеорезинов и чесночного масла.

- Подслащивание: обеспечивает сладкий вкус благодаря редуцирующим сахарам.

- Улучшение текстуры и связывание влаги: достигается за счет желатина, эмульгаторов и глицерина, которые делают продукт более густым и удерживают влагу.

- Регулирование кислотности: поддерживает оптимальный уровень кислотности с помощью органических кислот или их солей.

- Усиление вкуса и аромата: улучшает общее восприятие вкуса.

- Дополнительное консервирование: продлевает срок годности за счет поваренной соли.

Благодаря данной технологии, производители могут выпускать сосиски с начинкой, минимизируя затраты на производство и потребление энергии, при этом гарантируя высокое качество готовой продукции в плане вкуса и аромата.

Наполнитель готовят в специальных котлах или емкостях. Для этого сухую комплексную пищевую добавку постепенно вводят в горячую воду, нагретую до 90-92 °С, при непрерывном перемешивании до полного растворения. Затем в полученную смесь добавляют пищевую эмульсию и поваренную соль, тщательно перемешивая до получения однородной массы. Финальным этапом является охлаждение готового наполнителя в камере при температуре от 0 до 4 °С до достижения им полного застывания.

В процессе приготовления фарша, на этапе его измельчения в куттере, происходит добавление наполнителя. Куски наполнителя, каждый весом от 1 до 1,5 килограмма, вводятся в куттер незадолго до окончания процесса измельчения – за 1-2 минуты. После этого смешивание продолжается до тех пор, пока наполнитель не будет равномерно распределен по всему объему фарша. Чтобы ускорить процесс застывания подготовленной массы наполнителя, рекомендуется переливать ее из котла в специальные емкости из

нержавеющей стали, формируя слой толщиной не более 5-6 сантиметров.

Процесс приготовления сосисочного фарша включает использование наполнителей, которые прошли стадию окончательного застывания, в строгом соответствии с утвержденной рецептурой. Одновременно с этим происходит подготовка необходимых вспомогательных материалов, перечень которых варьируется в зависимости от конкретного рецепта. Это могут быть: белковый стабилизатор, соевый белок, который предварительно гидратировали, различные пищевые добавки или готовые смеси (с консервантом, если он нужен), крахмал, мука из пшеницы, сухое молоко, обычная соль и нитрит натрия.

Белковая стабилизация достигается за счет применения эмульсии, полученной путем смешивания свиной шкурки, пищевых фосфатов или многофункциональной пищевой добавки, содержащей фосфаты, с водной фазой, представленной водой, льдом или бульоном. Для гидратации можно использовать сухой яичный белок со степенью гидратации 1:7 [1, с. 57].

Многофункциональные пищевые добавки с консервантами – это сложные составы, объединяющие отобранные вкусо-ароматические вещества с функциональными компонентами. Они предназначены для улучшения органолептических свойств (вкуса, аромата, текстуры) продуктов и увеличения их срока годности.

Процесс приготовления мясного фарша осуществляется в следующей последовательности:

1. Подготовка сырья. Отдельно подготавливается мясное сырье различных видов (говядина, телятина, свинина, птица).

2. Первичное измельчение и посол. Мясное сырье измельчается, затем подвергается посолу.

3. Повторное измельчение. После посола сырье снова измельчается на волчке.

4. Формирование фарша. Процесс приготовления фарша включает точное взвешивание всех компонентов: мясного сырья, многофункциональных добавок с консервантом, воды (или льда) и других ингредиентов, согласно установленной рецептуре. Важным аспектом является учет количества соли или рассола, уже добавленного при посоле.

Процесс приготовления сосисочного фарша в куттере включает последовательное добавление вспомогательных материалов:

Первая стадия обработки. В течение 30-60 секунд сухой яичный белок обрабатывается в специальном оборудовании, используемом для приготовления фарша [4, с. 71].

Этап 1: Подготовка основного сырья и начальное смешивание. Сначала вводятся ключевые ингредиенты. Затем добавляется постное мясо в объеме, определенном рецептурой, поваренная соль и нитритно-посолочная смесь до достижения требуемой концентрации. Также вводятся многофункциональные пищевые добавки,

содержащие консерванты, часть воды (или льда) и белковый стабилизатор.

Этап 2: Первичное измельчение (куттерование). Проводится кратковременная обработка в куттере для начального измельчения.

Этап 3: Добавление дополнительных компонентов и продолжение обработки. На этом этапе вводится оставшаяся часть воды (или льда), при необходимости добавляется сухое молоко, а также более жирное мясное сырье.

Этап 4: Финальное измельчение и загущение. Процесс куттерования продолжается. За 2-3 минуты до завершения обработки добавляется пшеничная мука или крахмал для достижения нужной консистенции.

Изготовление фаршированных сосисок начинается с добавления начинки в мясной фарш. Начинку, уже застывшую и смешанную с соусами (например, кетчупом, горчицей или майонезом), нарезают на куски весом от 1 до 1,5 килограммов. Эти куски добавляют в куттер (специальный измельчитель) за 1-2 минуты до окончания измельчения фарша. Куттерование продолжается до тех пор, пока начинка не распределится равномерно по фаршу, образуя небольшие, желеобразные вкрапления размером не более 3-5 миллиметров. Общее время обработки в куттере составляет от 6 до 12 минут, в зависимости от скорости работы оборудования: чем быстрее режущие ножи, тем меньше времени требуется.

Готовый фарш поступает на стадию формовки. Здесь он используется для наполнения оболочек с помощью шприца, в результате чего получаются колбасные батончики. Следующий шаг – термическая обработка батончиков. Этот процесс может быть реализован в обжарочных и варочных камерах стационара с ручным контролем температуры. Альтернативно, используются комбинированные термокамеры или установки непрерывного действия, обеспечивающие автома-

тическое регулирование температуры, влажности и скорости воздушной среды. Выбор конкретных параметров термообработки определяется технологическими особенностями и рецептурой.

Завершает производственный цикл охлаждение. После термической обработки батончики сначала подвергаются душу, а затем охлаждаются в специальных камерах.

Сосиски с кетчупом: эти готовые сосиски выглядят как ровные, гладкие колбаски без видимых дефектов. Их оболочка неповрежденная, без выпирающего фарша, слипшихся участков или посторонних пятен. Внутри они обладают приятной, сочной мягкостью. При разрезе видна однородная, мелко перемолотая масса розового цвета, в которой равномерно распределены мелкие (до 3 мм) вкрапления желеобразного кетчупа. Сосиски имеют приятную соленость, а вкус и аромат кетчупа, усиленные пряностями, ощущаются одинаково по всей их массе.

Сосиски с горчицей: представляют собой аккуратные колбаски с чистой, сухой поверхностью. На них отсутствуют дефекты оболочки, наплывы фарша, слипшиеся участки или пятна. По текстуре они упругие и сочные. На срезе виден тонкоизмельченный фарш светло-розового оттенка, равномерно перемешанный, с вкраплениями желеобразной горчицы размером до 3 мм. Сосиски обладают умеренной соленостью, а вкус и аромат горчицы, дополненные нотками чеснока и пряностей, ярко и равномерно выражены по всей их структуре [3, с. 324].

Благодаря процессу смешивания пищевой эмульсии с комплексной желирующей добавкой на этапе производства, достигается однородное распределение частиц наполнителя в мясном фарше. Это способствует поддержанию его структурных свойств и реологических характеристик, а также повышает стабильность системы в целом (рис. 1).

Рисунок 1. Сосиски с горчицей и кетчупом, вид на разрезе.



При термической обработке сосисок, гелеобразный наполнитель претерпевает фазовый переход в жидкое состояние. Инновационная технология обеспечивает равномерное распределение вкусовых и ароматических веществ внутри мясной основы. Это предотвращает нежелательное разбрызгивание наполнителя при употреблении, повышая удобство использования продукта

[2, с. 58].

В результате, готовые продукты отличаются не только превосходными вкусовыми и ароматическими качествами, но и отличной текстурой. Оригинальность продукции способствует росту интереса со стороны потребителей и расширению ассортимента вареных колбасных изделий.

Список литературы:

[1] Граф В.А. Технологические свойства белковых добавок при производстве фаршевых мясо-продуктов: Диссертация на соискание учёной степени : дис. ... канд. техн. наук. — М., МТИИММП, 2011. — С. 186.

[2] Кустова О.С., Коробань Д.В., Полина С.Р., Сазонов К.К. Разработка технологии производства вареных сосисок функционального назначения // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. — 2024. — №. 1. — С. 58 - 61.

[3] Ожерельева О.Н., Аншукова А.О. Современное состояние качества и безопасности продуктов питания // Современные материалы, техника и технологии. — Курск. : ЗАО «Университетская книга», 2014. — С. 324-326.

[4] Пузырникова М.Г. Исследование и разработка технологии применения сухого яичного белка в производстве вареных колбасных изделий : дис. ... канд. техн. наук. — Москва, 2005. — С. 144.

[5] Хайруллина О.И. Анализ состояния и прогноз развития мясного рынка // Продовольственная политика и безопасность. — 2024. — №. Т. 11, № 3. — С. 663-680.

References:

[1] Graf V.A. Technological properties of protein additives in the production of minced meat products: Dissertation for the degree of Cand. Sci. (Eng.). - M., MTIIMMP, 2011. - P. 186.


[2] Kustova O.S., Koroban D.V., Polina S.R., Sazonov K.K. Development of a technology for the production of cooked sausages for functional purposes // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. - 2024. - No. 1. - P. 58-61.

[3] Ozherelieva O.N., Anshukova A.O. Current state of food quality and safety // Modern materials, equipment and technologies. - Kursk.: ZAO «University Book», 2014. - P. 324-326.

[4] Puzyrnikova M.G. Research and development of technology for the use of dry egg white in the production of cooked sausages: diss. ... Cand. of Technical Sciences. - Moscow, 2005. - P. 144.

[5] Khairullina O.I. Analysis of the state and forecast of the development of the meat market // Food Policy and Security. - 2024. - No. V. 11, No. 3. - P. 663-680.





JURCOMPANI
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ» издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.