

ISSN 2221-5182

Импакт-фактор РИНЦ: 0,485

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

№ 12(174) 2025

Главный редактор

Тарандо Е.Е.

Редакционная коллегия:

Воронкова Ольга Васильевна
Атабекова Анастасия Анатольевна
Омар Ларук
Левшина Виолетта Витальевна
Малинина Татьяна Борисовна
Беднаржевский Сергей Станиславович
Надточий Игорь Олегович
Снежко Вера Леонидовна
У Сунцзе
Ду Кунь
Тарандо Елена Евгеньевна
Пухаренко Юрий Владимирович
Курочкина Анна Александровна
Гузикова Людмила Александровна
Даукаев Арун Абалханович
Тютюнник Вячеслав Михайлович
Дривотин Олег Игоревич
Запивалов Николай Петрович
Пеньков Виктор Борисович
Джаманбалин Кадыргали Коныспаевич
Даниловский Алексей Глебович
Иванченко Александр Андреевич
Шадрин Александр Борисович

В ЭТОМ НОМЕРЕ:

МАШИНОСТРОЕНИЕ:

- Машины, агрегаты и технологические процессы
- Роботы, мехатроника и робототехнические системы
- Технология машиностроения
- Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:

- Математическое моделирование и численные методы
- Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ:

- Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ:

- Математические, статистические и инструментальные методы в экономике
- Региональная и отраслевая экономика

Москва 2025

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

Журнал

«Наука и бизнес: пути развития»
выходит 12 раз в год.

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и
охране культурного наследия
(Свидетельство ПИ № ФС77-44212).

Учредитель

МОО «Фонд развития науки и
культуры»

Журнал «Наука и бизнес: пути
развития» входит в перечень ВАК
ведущих рецензируемых научных
журналов и изданий, в которых
должны быть опубликованы
основные научные результаты
диссертации на соискание ученой
степени доктора и кандидата наук.

Главный редактор

Е.Е. Тарандо

Выпускающий редактор

В.С. Солодова

Редактор иностранного
перевода

Н.А. Гунина

Инженер по компьютерному
макетированию

В.С. Солодова

Адрес редакции:

г. Москва, ул. Малая Переяславская,
д. 10, к. 26

Телефон:

89156788844

E-mail:

nauka-bisnes@mail.ru

На сайте

<http://globaljournals.ru>

размещена полнотекстовая
версия журнала.

Информация об опубликованных
статьях регулярно предоставляется
в систему Российского индекса
научного цитирования
(договор № 2011/30-02).

Перепечатка статей возможна только
с разрешения редакции.

Мнение редакции не всегда
совпадает с мнением авторов.

Экспертный совет журнала

Тарандо Елена Евгеньевна – д.э.н., профессор кафедры экономической социологии Санкт-Петербургского государственного университета; тел.: 8(812)274-97-06; E-mail: elena.tarando@mail.ru.

Воронкова Ольга Васильевна – д.э.н., профессор, председатель редколлегии, академик РАН, г. Санкт-Петербург; тел.: 8(981)972-09-93; E-mail: nauka-bisnes@mail.ru

Атабекова Анастасия Анатольевна – д.ф.н., профессор, заведующая кафедрой иностранных языков юридического факультета Российского университета дружбы народов; тел.: 8(495)434-27-12; E-mail: aaatabekova@gmail.com.

Омар Ларук – д.ф.н., доцент Национальной школы информатики и библиотек Университета Лиона; тел.: 8(912)789-00-32; E-mail: omar.larouk@enssib.fr.

Левшина Виолетта Витальевна – д.т.н., профессор кафедры управления качеством и математических методов экономики Сибирского государственного технологического университета; 8(3912)68-00-23; E-mail: violetta@sibstu.krasnoyarsk.ru.

Малинина Татьяна Борисовна – д.социол.н., профессор кафедры социального анализа и математических методов в социологии Санкт-Петербургского государственного университета; тел.: 8(921)937-58-91; E-mail: tatiana_malinina@mail.ru.

Беднаржевский Сергей Станиславович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Сургутского государственного университета, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, академик РАН и Международной энергетической академии; тел.: 8(3462)762-812; E-mail: sbed@mail.ru.

Надточий Игорь Олегович – д.ф.н., профессор, заведующий кафедрой философии Воронежской государственной лесотехнической академии; тел.: 8(4732)53-70-708, 8(4732)35-22-63; E-mail: inad@yandex.ru.

Снежко Вера Леонидовна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов Российского государственного аграрного университета – Московкой сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева; тел.: 8(495)153-97-66, 8(495)153-97-57; E-mail: VL_Snejko@mail.ru.

У Сунцзе (Wu Songjie) – к.э.н., преподаватель Шаньдунского педагогического университета (г. Шаньдун, Китай); тел.: +86(130)21-69-61-01; E-mail: qdwcung@hotmail.com.

Ду Кунь (Du Kun) – к.э.н., доцент кафедры управления и развития сельского хозяйства Института кооперации Циндаоского аграрного университета (г. Циндао, Китай); тел.: 89606671587; E-mail: tambovdu@hotmail.com.

«НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ»

научно-практический журнал

Пухаренко Юрий Владимирович – д.т.н., член-корреспондент РААСН, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов и метрологии Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета; тел.: 89213245908; E-mail: tsik@spbgasu.ru.

Курочкина Анна Александровна – д.э.н., профессор, член-корреспондент Международной академии наук Высшей школы, заведующая кафедрой экономики предприятия природопользования и учетных систем Российского государственного гидрометеорологического университета; тел.: 89219500847; E-mail: kurochkinaanna@yandex.ru.

Морозова Марина Александровна – д.э.н., профессор, директор Центра цифровой экономики Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург; тел.: 89119555225; E-mail: marina@russiatourism.pro.

Гузикова Людмила Александровна – д.э.н., профессор Высшей школы государственного и финансового управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург; тел.: 8(911)814-24-77; E-mail: guzikova@mail.ru.

Даукаев Арун Абалханович – д.г.-м.н., заведующий лабораторией геологии и минерального сырья Комплексного научно-исследовательского института имени Х.И. Ибрагимова РАН, профессор кафедры физической географии и ландшафтоведения Чеченского государственного университета, г. Грозный (Чеченская Республика); тел.: 89287828940; E-mail: daykaev@mail.ru.

Тютюнник Вячеслав Михайлович – к.х.н., д.т.н., профессор, директор Тамбовского филиала Московского государственного университета культуры и искусств, президент Международного Информационного Нобелевского Центра, академик РАЕН; тел.: 8(4752)50-46-00; E-mail: vmt@imb.ru.

Дривотин Олег Игоревич – д.ф.-м.н., профессор кафедры теории систем управления электрофизической аппаратурой Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург; тел.: (812)428-47-29; E-mail: drivotin@yandex.ru.

Запывалов Николай Петрович – д.г.-м.н., профессор, академик РАЕН, заслуженный геолог СССР, главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск; тел.: +7(383)333-28-95; E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru.

Пеньков Виктор Борисович – д.ф.-м.н., профессор кафедры математических методов в экономике Липецкого государственного педагогического университета, г. Липецк; тел.: 89202403619; E-mail: vbpenkov@mail.ru.

Джаманбалин Кадыргали Коныспаевич – д.ф.-м.н., профессор, ректор Костанайского социально-технического университета имени академика Зулкарнай Алдамжар, г. Костанай (Республика Казахстан); E-mail: pkkstu@mail.ru.

Даниловский Алексей Глебович – д.т.н., профессор кафедры судовых энергетических установок, систем и оборудования Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, г. Санкт-Петербург; тел.: (812)714-29-49; E-mail: agdanilovskij@mail.ru.

Иванченко Александр Андреевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания и автоматики судовых энергетических установок Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург; тел.: (812)321-37-34; E-mail: IvanchenkoAA@gumrf.ru.

Шадрин Александр Борисович – д.т.н., профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания и автоматики судовых энергетических установок Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург; тел.: 321-37-34; E-mail: abshadrin@yandex.ru.

Содержание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Математическое моделирование и численные методы

- Аминова К.Р., Губаева О.Г.** Моделирование процесса автоматизированного регулирования напряжения в электрических сетях 8
- Башкирова С.Н., Зубалов С.К., Алиумаров А.Р., Абдуллаев Ш.Б., Султанов Б.Г.** Цифровая модель сегментации стоматологических травм с использованием искусственного интеллекта 11
- Богданов Д.А., Гаврилин А.Н.** Анализ имеющихся способов вибрационной диагностики подшипников качения 15
- Воронин С.А.** Методология OSINT для автоматизированной проверки контрагентов с использованием искусственного интеллекта (due diligence) 19
- Зайцева И.В., Бондарь В.В., Казначеева М.Г.** Математическое моделирование плана поставки трудовых ресурсов 26
- Орешенко Т.Г., Кулагина С.И.** Подготовка одноплатных компьютеров Raspberry Pi 5 и Radxa ZERO к развертыванию нейросетевой модели YOLO 30
- Пальмов С.В., Яковлев В.А.** Прогнозирование временных рядов и восстановление данных активности с использованием модели SARIMAX 34
- Прокудин М.Р., Чернов А.Д., Скворцова Д.А.** Анализ устойчивости иерархических систем на основе принципа Питера и парадокса выживания слабейшего 38
- Рыжикова Е.Г.** Проектирование комплекса проблемно-ориентированных программ для экспертного оценивания 43
- Терентьев А.С., Дрокин Е.Е., Орешенко Т.Г.** Разработка математической модели системы сбора низкочастотного зашумленного сигнала 47
- Чурсин Н.А., Ильин Д.Ю.** Анализ подходов к управлению вычислительными ресурсами Kubernetes-кластера в условиях изменяющейся нагрузки 52

Инженерная геометрия и компьютерная графика. Цифровая поддержка жизненного цикла изделий

- Игнатова Е.И., Фролов И.С., Свойкин Ф.В.** Построение шестиугольной усеченной пирамиды в КОМПАС-3D V23 58

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Машины, агрегаты и технологические процессы

- Погребная И.А., Михайлова С.В.** Сравнительный анализ методов контроля коррозии и защиты промышленных нефтегазовых трубопроводов 62

Роботы, мехатроника и робототехнические системы

- Тапеха Н.О., Чурсин А.С., Шмаков О.А.** Кинестатический анализ преодоления верти-

кального препятствия мобильным роботом с учетом дифференциального распределения тяги..... 66

Технология машиностроения

Кудрявцева А.М. Повышение качества технологии изготовления и сборки высоконагруженной панели первой стенки ИТЭР на основе компьютерного моделирования..... 72

Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

Шендеров В.И. Патентная и лицензионная стратегия в инновационном стартапе 80

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Истомин А.В., Горелик А.В., Синельников С.О., Кузьмина Е.В. Программная реализация алгоритма поиска оптимальной стратегии распределения ресурсов на основе совокупности математических методов..... 93

Помозова Т.Г., Шишмарева В.В. Автоматизированное управление технической документацией: анализ и перспективы 97

Рубин А.В., Серезлеев Д.С., Колосова О.В. Автоматизированная система мониторинга качества программного обеспечения и оценка ее эффективности 101

Рубин А.В., Серезлеев Д.С., Колосова О.В. Имитационное моделирование и управление сложностью проектов в разработке программного обеспечения 112

Рубин А.В., Серезлеев Д.С., Колосова О.В. Современные тенденции стандартизации в сфере информационных технологий: интеграция управленческих и технологических стандартов 121

Сидельников И.Д., Крутов Т.Ю. Организационно-технические факторы в системах предиктивного обслуживания оборудования..... 130

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Гудков А.А., Глухова Л.В. Модель согласованного взаимодействия команды IT-проекта и его экономических последствий 134

Николаева И.В. К вопросу о кластеризации электората при проведении выборов в Республике Саха (Якутия) 139

Региональная и отраслевая экономика

Шевердак А.О., Филюшина Е.В. Цифровая трансформация промышленности: региональные особенности и социально-экономические эффекты на примере Красноярского края .. 143

Эсальник С.Е., Заенчковский А.Э., Дли М.И., Кактунова Т.В. Пространственно-временной анализ влияния инновационных процессов на технологическое развитие российских регионов: экономические модели инновационного отклика 147

Contents

INFORMATION TECHNOLOGY

Mathematical Modeling and Numerical Methods

Aminova K.R., Gubaeva O.G. Modeling the Process of Automated Voltage Regulation in Electrical Networks	8
Bashkirova S.N., Zubalov S.K., Aliumarov A.R., Abdullayev Sh.B., Sultanov B.G. Digital Segmentation Model of Dental Injuries Using Artificial Intelligence	11
Bogdanov D.A., Gavrilin A.N. Analysis of Existing Methods for Vibration Diagnostics of Rolling Bearings	15
Voronin S.A. OSINT Methodology for Automated Counterparties Verification Using Artificial Intelligence (Due Diligence)	19
Zaitseva I.V., Bondar V.V., Kaznacheeva M.G. Mathematical Modeling of the Labor Supply Plan	26
Oreshchenko T.G., Kulagina S.I. Preparing Raspberry PI 5 and Radxa ZERO Single-Board Computers for YOLO Neural Network Model Deployment	30
Palmov S.V., Yakovlev V.A. Time-Series Forecasting and Reconstruction of Activity Data Using the SARIMAX Model	34
Prokudin M.R., Chernov A.D., Skvortsova D.A. Stability Analysis of Hierarchical Systems Based on the Peter Principle and the Survival of the Weakest Paradox.....	38
Ryzhikova E.G. Complex Design Problem-Oriented Programs for Expert Evaluation.....	43
Terentyev A.S., Drokin E.E., Oreshenko T.G. Development of a Mathematical Model of a System for Collecting Low-Frequency Noisy Signal	47
Chursin N.A., Ilyin D.Yu. Analysis of Approaches to Managing Computing Resources in a Kubernetes Cluster under Changing Workloads	52

Engineering Geometry and Computer Graphics. Digital Product Lifecycle Support

Ignatova E.I., Frolov I.S., Svoykin F.V. Building of a Six-Square Truncated Pyramid in Kompas-3D V23	58
---	----

MECHANICAL ENGINEERING

Machines, Units and Processes

Pogrebnaya I.A., Mikhailova S.V. Comparative Analysis of Corrosion Control and Protection Methods for Industrial Oil and Gas Pipelines.....	62
--	----

Robots, Mechatronics and Robotic Systems

Tapekha N.O., Chursin A.S., Shmakov O.A. Kinetostatic Analysis of a Mobile Robot Overcoming a Vertical Obstacle with Consideration of Differential Traction Distribution	66
---	----

Engineering Technology

Kudryavtseva A.M. Improving the Quality of Enhanced Heat Flux First Wall Panels of the ITER Manufacturing and Assembly Technologies Based on Computer Modeling..... 72

Methods and Instruments for Monitoring and Diagnostics of Materials

Shenderov V.I. Patent and Licensing Strategy in an Innovative Startup..... 80

TECHNICAL SCIENCES

Product Quality Management. Standardization. Organization of Production

Istomin A.V., Gorelik A.V., Sinelnikov S.O., Kuzmina E.V. Software Implementation of the Algorithm for Finding the Optimal Resource Allocation Strategy Based on a Set of Mathematical Methods 93

Pomozova T.G., Shishmareva V.V. Automated Technical Documentation Management: Analysis and Prospects..... 97

Rubin A.V., Serezleev D.S., Kolosova O.V. Automated Software Quality Monitoring System and Evaluation of Its Effectiveness..... 101

Rubin A.V., Serezleev D.S., Kolosova O.V. Simulation Modeling and Project Complexity Management in Software Development.....112

Rubin A.V., Serezleev D.S., Kolosova O.V. Current Standardization Trends in the Field of Information Technology: Integration of Management and Technology Standards 121

Sidelnikov I.D., Krutov T.Yu. Organizational and Technical Factors in Predictive Equipment Maintenance Systems 130

ECONOMIC SCIENCES

Mathematical and Instrumental Methods of Economics

Gudkov A.A., Glukhova L.V. A Model of Coordinated Interaction of IT Project Team and Its Economic Consequences..... 134

Nikolaeva I.V. On the Question of Electorate Clustering During Elections in the Republic of Sakha (Yakutia) 139

Regional and Sectoral Economy

Sheverdak A.O., Filyushina E.V. Industrial Digital Transformation: Regional Features and Socio-Economic Effects on the Example of the Krasnoyarsk Territory 143

Esalnek S.E., Zaenchkovsky A.E., Dli M.I., Kaktunova T.V. Spatial and Temporal Analysis of the Impact of Innovation Processes on the Technological Development of Russian Regions: Economic Models of the Innovation Process..... 147

УДК 519.87

К.Р. АМИНОВА, О.Г. ГУБАЕВА

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Ключевые слова: автоматизированное управление напряжением; автоматизированный регулятор напряжения трансформатора (АРНТ); автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП); диспетчеризация; качество электроэнергии; оциллограмма; переходный процесс; провал напряжения; регулировочное устройство под нагрузкой (РПН); цифровая подстанция.

Аннотация. В условиях роста требований к качеству электроэнергии и цифровизации энергосистем особую актуальность приобретает учет кратковременных возмущений, возникающих при локальных операциях управления, в частности, при переключении РПН. Данное исследование направлено на определение воздействия автоматического регулятора напряжения трансформатора (АРНТ) на характеристики электроэнергии. В рамках статьи была поставлена задача разработать рекомендации по использованию устройства АРНТ. В качестве методов исследования применялись моделирование динамических процессов, возникающих при переключении РПН на базе трансформатора ТМН-6300/35 (трехфазный масляной силовой трансформатор), и проведение анализа полученных оциллограмм по нормативным показателям качества электроэнергии (ГОСТ 32144-2013). В результате исследования предложены алгоритмические меры по минимизации негативного влияния в контексте интеграции РПН в системы автоматизированного управления напряжением (АСУ ТП), в том числе в составе автоматизированных рабочих мест диспетчерского центра (АРМ ДЦ) и систем автоматического управления напряжением.

Регулирование напряжения – это сложная и многогранная задача, требующая комплексного

подхода, включающего использование современного оборудования, оптимизацию режимов работы сетей и внедрение интеллектуальных систем управления энергопотреблением. Только так можно обеспечить надежное и экономичное электроснабжение, отвечающее современным требованиям.

АРНТ – устройство, предназначенное для поддержания стабильного уровня напряжения в электрических сетях и энергосистемах. Он необходим для гарантированного и бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией требуемого качества.

Основная задача АРНТ заключается в автоматической корректировке коэффициента трансформации силового трансформатора. Это достигается путем переключения ответвлений обмоток трансформатора под нагрузкой (РПН).

Функциональность АРНТ не ограничивается только поддержанием стабильного напряжения. Он также способствует улучшению коэффициента мощности и снижению потерь электроэнергии, предотвращению перенапряжений и, как следствие, продлению срока службы оборудования, снижению вероятности аварийных ситуаций, связанных с колебаниями напряжения.

В современных энергосистемах АРНТ интегрируются с системами *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*, что позволяет осуществлять удаленный мониторинг и управление. Это повышает эффективность работы системы в целом и обеспечивает оперативное реагирование на возникающие проблемы.

Устройство РПН монтируется со стороны высокого напряжения. Контроль за работой РПН может осуществляться как удаленно, так и автоматически [1].

Однако на некоторых подстанциях с напряжением 35–110 кВ системы АРНТ не используются в автоматическом режиме по некоторым

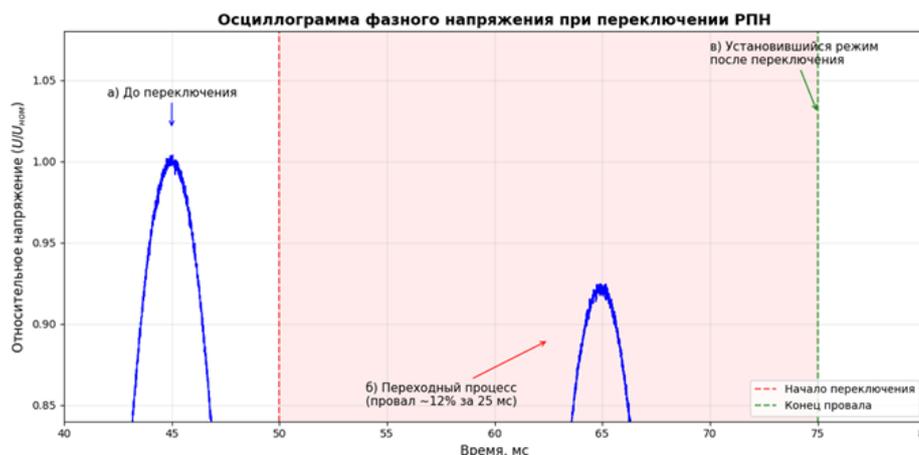


Рис. 1. Осциллограмма фазного напряжения при переключении РПН: а) до переключения; б) переходный процесс (провал ~12 % за 25 мс); в) установившийся режим после переключения

причинам, несмотря на их потенциальные выгоды [2].

Здесь следует отметить, что процесс переключения ступеней сопровождается кратковременным разрывом цепи обмотки, что вызывает электромагнитные переходные процессы [3]. Хотя длительность таких процессов составляет десятки миллисекунд, их амплитуда может достигать 10–15 % от номинального напряжения, что попадает в зону нарушений по показателям качества электроэнергии – в первую очередь по параметру «провал напряжения», нормируемому в п. 5.2 ГОСТ 32144-2013 [4].

В представленной работе проводилось моделирование процесса переключения устройства РПН как мгновенное изменение коэффициента трансформации с паузой 40 мс (характерное время механического привода). На стороне низкого напряжения возникает характеристика переходного процесса, показанная на рис. 1.

Рассматривалась схема подключения трансформатора ТМН 6300/35/10 ($S_n = 6,3$ МВА, $U_k = 8$ %) к сети с типовой активно-индуктивной нагрузкой ($\cos \varphi = 0,92$, загрузка 75 %). Моделирование было выполнено в среде *MATLAB/Simulink* с использованием библиотеки *Simscape Electrical*.

Как видно из рис. 1, переключение вызвало провал напряжения до $0,88 \cdot U_{ном}$ длительностью 25 мс, что формально не превышает предельно допустимые значения ($\Delta U \leq 15$ %, $t \leq 30$ мс) для кратковременных провалов II сте-

пени [4], но находится на грани срабатывания чувствительных потребителей (например, частотных преобразователей или микропроцессорных реле). Более того, при несимметричной нагрузке или износе контактов возникают дополнительные высокочастотные колебания (5–15 кГц), увеличивающие коэффициент нелинейных искажений ($THD U$ – коэффициент нелинейных искажений напряжения) до 4,2 % (норма ≤ 5 % для сети 10 кВ), что потенциально влияет на работу цифровых измерительных комплексов и систем синхронизации по МЭК 61850-9-2 (международный стандарт для цифровых подстанций, регламентирующий передачу выборок мгновенных значений тока и напряжения) [5].

С точки зрения диспетчеризации такие события опасны двумя аспектами:

1) искажение телеметрии – *SCADA* (система диспетчерского управления и сбора данных) может зафиксировать «аварийное» снижение напряжения, что приведет к избыточному вмешательству диспетчера;

2) дестабилизация иерархии управления – при централизованном управлении напряжением локальное переключение без учета переходных процессов может вызвать «гонку» между соседними трансформаторами (каскадное переключение), усугубляя колебания напряжения [6].

Для снижения рисков рекомендуется внедрять в цифровые системы РПН следующие алгоритмические меры: блокировку переключе-

чения при $dU/dt > 3 \text{ \%}/\text{мс}$ или $THD U > 3,5 \text{ \%}$, задержку 500–1 000 мс после стабилизации напряжения и интеграцию с *PMU* (устройство синхронизированных векторных измерений) для предотвращения переключения в моменты пикового тока нагрузки.

Таким образом, учет переходных процессов при переключении РПН – не вспомогательная, а ключевая задача при проектировании интеллектуальных алгоритмов диспетчерского управления напряжением в цифровых энергосистемах.

Список литературы

1. РПН и ПБВ трансформатора – назначение и принцип действия // Лидер – энерго: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://lider-energo.ru/articles/rpn-i-pbv-transformatora-naznachenie-i-princzip-dejstviya>.
2. Непша, Ф.С. Применение устройств автоматического регулирования напряжения трансформаторов / Ф.С. Непша // Электроцех, № 11, 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://panor.ru/articles/primeneniye-ustroystv-avtomaticheskogo-regulirovaniya-napryazheniya-transformatorov/96605.html#>.
3. ГОСТ Р 58294-2018. Трансформаторы силовые. Устройства переключения ответвлений. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2019. – 24 с.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 16 с.
5. IEC 61850-9-2:2011. Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3. – Geneva: IEC, 2011.
6. Левин, А.А., Управление напряжением в распределительных сетях с учетом динамики РПН / А.А. Левин, Д.В. Смирнов // Электрические станции. – 2023. – № 7. – С. 42–48.

References

1. RPN i PBV transformatora – naznacheniyе i printsip deystviya // Lider – energo: ofitsial'nyy sayt [Electronic resource]. – Access mode : <https://lider-energo.ru/articles/rpn-i-pbv-transformatora-naznachenie-i-princzip-dejstviya>.
2. Nepsha, F.S. Primeneniye ustroystv avtomaticheskogo regulirovaniya napryazheniya transformatorov / FS. Nepsha // Elektrotsekh, № 11, 2014 [Electronic resource]. – Access mode : <https://panor.ru/articles/primeneniye-ustroystv-avtomaticheskogo-regulirovaniya-napryazheniya-transformatorov/96605.html#>.
3. GOST R 58294-2018. Transformatory silovyye. Ustroystva pereklyucheniya otvetvleniy. Obshchiye tekhnicheskkiye usloviya. – M. : Standartinform, 2019. – 24 s.
4. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Elektromagnitnaya sovместimost' tekhnicheskikh sredstv. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. – M. : Standartinform, 2014. – 16 s.
6. Levin, A.A., Upravleniye napryazheniyem v raspredelitel'nykh setyakh s uchetom dinamiki RPN / A.A. Levin, D.V. Smirnov // Elektricheskkiye stantsii. – 2023. – № 7. – S. 42–48.

УДК 13058

С.Н. БАШКИРОВА, С.К. ЗУБАЛОВ, А.Р. АЛИУМАРОВ, Ш.Б. АБДУЛЛАЕВ, Б.Г. СУЛТАНОВ
ФГБОУ ВО «Пятигорский государственный университет»;

Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пятигорск

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ СЕГМЕНТАЦИИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ТРАВМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Ключевые слова: искусственный интеллект; машинное обучение; нейронные сети; цифровая модель; цифровая стоматология.

Аннотация. Целью настоящего исследования стала разработка алгоритмов глубокой диагностики травматических повреждений зубов на основе инструментария, предлагаемого *YOLO*, с позиции автоматического сегментирования травм мягких и твердых тканей на панорамных рентгенограммах пациентов. Результаты исследования, основанные на анализе статистических данных, полученных в ходе рентгенографических наблюдений детей в возрасте 6–13 лет, госпитализированных в качестве пациентов неотложной помощи в период с 2024 по 2025 г. в количестве 345 человек, позволили сделать вывод, согласно которому применение искусственного интеллекта в стоматологии становится реальностью, что значительно облегчает работу стоматологов с ежедневными огромными массивами качественных и унифицированных данных, помогает интерпретировать клинические симптомы, проводить цефалометрический анализ или распознавать поражения на основе различия вокселей для постановки конкретного диагноза.

Введение

Травматические повреждения зубов (ТПИ) выступают в качестве одного из факторов, обуславливающих качество жизни человека и диктующих незамедлительное обращение за стоматологической помощью. При классифи-

кации стоматологических травм в медицинской практике выделяется разнообразие клинических форм, образуемых таким же значительным многообразием типов тяжести и анатомических структур, в совокупности являющихся ключевыми факторами выбора подхода к лечению, осуществляемого в рамках первоначального клинического обследования [3].

Несмотря на оценку множества факторов на этапе первоначального осмотра, следует признать важность проведения более глубокого осмотра посредством рентгенографических методов, т.е. методов визуализации, позволяющих консолидировать все образованные травмой структурные нарушения, тем самым более точно установить пути разрешения проблемы.

Панорамная рентгенография обычно используется в качестве метода визуализации первоначального осмотра при оценке степени ТПИ, позволяющего установить целостность структурной организации всех важных составляющих: зубов, челюстей и лицевых структур. Таким образом, названный нами метод предусматривает получение диагностической информации об изменении альвеолярной кости и зубов в целостной картине полученной травмы.

Панорамная рентгенография предполагает еще одно преимущество комфортного обследования пациента при низком уровне радиационного облучения и короткого временного интервала при получении объемного информационного материала, значимого для оценки площади травматического повреждения и выбора курса лечения, основанного на фактических данных [5].

Однако согласно данным, представленным отечественными и зарубежными авторами ряда

исследований, эффективность рентгенодиагностики варьируется от 34,8 % до 56,4 % [2]. Достаточно низкий диапазон результативности метода в стоматологической практике в опыте лечения зубочелюстной травмы указывает на необходимость поиска и научного обоснования более эффективного метода, позволяющего преодолеть присутствующие в методе ограничения. Учитывая последние научные достижения в области стоматологических знаний, стоит обратить внимание, на наш взгляд, на перспективы применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) при диагностике ТПИ.

Повышение эффективности диагностических мероприятий возможно при выработке модели ИИ, способной автоматически определять тип травмы на панорамных рентгенограммах, полученных от пациентов неотложной помощи. Однако, несмотря на имеющиеся возможности, следует признать отсутствие до настоящего времени аргументированных знаний о роли алгоритмов ИИ в диагностической визуализации, позволяющей обнаруживать и классифицировать ТПИ [1].

Высказанная гипотеза опирается на научно обоснованные знания, указывающие на возможности систем ИИ автоматического извлечения из большой совокупности данных конкретных признаков, свидетельствующих о полученных травмах. В качестве примера можно привести диапазон возможностей при анализе информации сверточных нейронных сетей (*Convolutional Neural Networks – CNN*) [4], способной не только консолидировать и систематизировать данные, но и автономно разрабатывать прогностические модели последующего развития событий, представляя их в виде прогностической модели.

В настоящем исследовании интерес проявлен к одному из множества алгоритмов *CNN*, представленному в версии *You Only Look Once (YOLO)*, благодаря которой возможно достижение высокого уровня точности и, соответственно, эффективности диагностических мероприятий в области стоматологии [4]. Недостаточная изученность возможностей названной версии *CNN* обусловила необходимость проведения настоящего исследования, целью которого стала разработка алгоритмов глубокой диагностики ТПИ на основе инструментария, предлагаемого *YOLO*, с позиции автоматического сегментирования травм мягких и твердых тканей на панорамных рентгенограммах

пациентов.

Методы исследования

В качестве исследуемых данных были взяты рентгенологические параметры детей в возрасте 6–13 лет, госпитализированных в качестве пациентов неотложной помощи в период с 2024 по 2025 г. в количестве 345 человек. Анализ рентгенографических наблюдений (снимков) пациентов позволил констатировать наличие нескольких типов травм, определенных в соответствии с классификацией дентальных повреждений по Йенсу О. Андреасену. По окончании анализа выявленные стоматологические травмы были сгруппированы по двум основным категориям:

- 1) повреждения твердых тканей зуба и пульпы с сегментированием посредством полигональной сегментации;
- 2) повреждения тканей пародонта.

Результаты исследования

По завершении маркировки были предложены три модели глубокой диагностики, каждая из которых предполагала различные компромиссы между скоростью обработки и производительностью, последующий анализ которых позволил бы выбрать модель, обеспечивающую максимальный уровень диагностической точности, предусматривающий три предназначения:

- 80 % для диагностики;
- 10 % для валидации;
- 10 % для поверхностного тестирования.

Модели были разработаны с использованием *Python* (версия 3.6.1), инструментарий которого позволял прекращать диагностику в случае отсутствия изменений в точности показателей при 100-ом повторении исчисления, а их эффективность оценивалась с использованием матрицы ошибок путем сравнения прогнозов модели с фактическими данными:

- истинно положительная (при правильной идентификации травмы);
- ложноположительная (при ошибочном обнаружении травмы, при неправильной ее классификации);
- ложноотрицательная (при необнаружении травмы).

При расчете исследуемых показателей уровень точности в диагностике конкретной модели считался успешным только в том случае,

Таблица 1. Показатели производительности диагностических моделей

Алгоритм	Точность	Полнота	F-1 оценка (среднее между точностью = и полнотой)
Классификатор случайного леса			
Повреждения твердых тканей зуба и пульпы с сегментированием посредством полигональной сегментации	0,782	0,743	0,762
Повреждения тканей пародонта	0,560	0,425	0,483
Дерево решений			
Повреждения твердых тканей зуба и пульпы с сегментированием посредством полигональной сегментации	0,741	0,694	0,716
Повреждения тканей пародонта	0,468	0,486	0,477
Метод опорных векторов			
Повреждения твердых тканей зуба и пульпы с сегментированием посредством полигональной сегментации	0,668	0,710	0,688
Повреждения тканей пародонта	0,355	0,535	0,427

если коэффициент пересечения превышал 0,50. Все статистические анализы проводились с использованием программного обеспечения SPSS версии 29, а статистически значимым считалось значение $p < 0,05$ (табл. 1).

Три метода алгоритма машинного обучения, использованные в настоящем исследовании, обладают своим индивидуальным набором преимуществ:

- 1) классификатор случайного леса способен демонстрировать высокую точность;
- 2) дерево решений, генерирующее большое число решений для точного прогнозирования состояния зубов с учетом плана лечения;
- 3) метод опорных векторов, создающий гиперплоскость в n -мерном пространстве для разделения объектов двух или более классов.

В соответствии с полученными в рамках темы настоящего исследования данными классификатор дерева принятия решений продемонстрировал высокие результаты, задействуя всю совокупность имеющихся данных, итеративно выбирая ведущие признаки и моделируя нелинейные эффекты, что в совокупности отразилось на точности диагностических решений 84,13 %.

Модель, в которой задействован метод «дерево решений» при использовании ИИ, продемонстрировал высокую точность в сравнении с остальными методами машинного обучения. Следует обратить внимание на то, что точность

аналитики и прогностического моделирования, генерируемых с помощью машинного обучения, преимущественно зависит от типа и качества данных. Таким образом, для построения этой модели глубокой диагностики ТПИ важно получение максимального количества значений, указывающих на текущее состояние пациента для точностного прогнозирования его состояния на основе междисциплинарных факторов.

Заключение

Таким образом, рост применения в медицинской практике электронных стоматологических карт и перевод клинических данных в цифровую форму позволяют использовать ИИ в рамках диагностических мероприятий и интерпретации большого объема данных, с максимальной точностью отражая ключевые параметры, обуславливающие принятие клинических решений. Алгоритмы ИИ и машинного обучения включили в себя вычислительную модель, которая использует и обрабатывает информацию из множества наборов данных с критическими параметрами для прогнозирования результата. Вся диагностическая процедура в этом случае основана на распознавании закономерностей в прогнозировании результатов на основе набора тестовых данных, включая результаты диагностических и лабораторных исследований, рентгенограммы, а также экстра-

оральные и интраоральные изображения.

Весь набор данных может быть преобразован в диагностические модели, результаты алгоритма которых позволяют получать не только текущие значения ТПИ пациентов, но и определять направленность лечения, формировать рекомендации и осуществлять прогноз будущих состояний. Настоящее исследование способствует расширению знаний об эффективности внедрения ИИ в процесс принятия решений для точной диагностики ТПИ прогнозирования лечения, закладывая тем самым основу для будущих научных изысканий, возможно, в рамках междисциплинарной исследовательской группы, состоящей из ведущих специалистов в области протезирования, пародонтологии и эндодонтии. Поскольку точность прогнозирования обеспечивается большим числом факторов, такая интеграция различных дисциплин может иметь решающее значение для получения более точных моделей диагностики и лечения.

Модель глубокой диагностики при использовании ИИ может улучшить доступ к стоматологической помощи, повысив ее уровень безопасности и качества в границах множества междисциплинарных знаний. Последующие модели могут разрабатываться с акцентированным вниманием к увеличению возможностей синтеза показателей прогнозирования, позволяя специалистам-практикам конкретизировать направленность предусматриваемого лечения в сложных случаях.

В будущем можно будет использовать модель, представленную методом машинного обучения на основе ИИ, для разработки различных вариантов плана лечения с учетом определяющих факторов. Более того, модель может находить модификации алгоритмов принятия решений о прогнозировании состояния зубов в различных системах медицинского страхования, поскольку прогнозирование состояния зубов может варьироваться в зависимости от политики здравоохранения.

Список литературы

1. Тутуров, Н.С. Разработка web-интерфейса для автоматизированного цефалометрического анализа прямых и боковых телерентгенограмм / Н.С. Тутуров, Н.Ю. Оборотистов, С.С. Иванов // *Стоматология славянских государств. Сборник трудов XIV Международной научно практической конференции.* – Белгород, 2021. – С. 283–284.
2. De Angelis, F. Artificial Intelligence: A New Diagnostic Software in Dentistry: A Preliminary Performance Diagnostic Study / F. De Angelis, N. Pranno, A. Franchina // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* – 2022. – No. 19 (3). – P. 1728–1736.
3. Patil, Sh. Artificial Intelligence in the Diagnosis of Oral Diseases: Applications and Pitfalls / Sh. Patil, S. Albogami, J. Hosmani // *Diagnostics.* – 2022. – No. 12(5). – P. 1029–1044.
4. Sang, J. Lee. Diagnosis of Tooth Prognosis Using Artificial Intelligence / J. Lee Sang, Chung Dahee, Asano Akiko // *Diagnostics.* – 2022. – No. 12(6). – P. 1422–1428.
5. Thurzo, A. Where Is the Artificial Intelligence Applied in Dentistry? Systematic Review and Literature Analysis / A. Thurzo, W. Urbanov, B. Novok // *Healthcare.* – 2022. – No. 10(7). – P. 1269–1275.

References

1. Tuturov, N.S. Razrabotka web-interfeysa dlya avtomatizirovannogo tsefalometricheskogo analiza pryamykh i bokovykh telerentgenogramm / N.S. Tuturov, N.YU. Oborotistov, S.S. Ivanov // *Stomatologiya slavyanskikh gosudarstv. Sbornik trudov KHIV Mezhdunarodnoy nauchno prakticheskoy konferentsii.* – Belgorod, 2021. – S. 283–284.

УДК 621.822.6:620.179.1

Д.А. БОГДАНОВ, А.Н. ГАВРИЛИН
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет», г. Томск

АНАЛИЗ ИМЕЮЩИХСЯ СПОСОБОВ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Ключевые слова: акустическая эмиссия; вейвлет-преобразование; вибрационная диагностика; машинное обучение; неразрушающий контроль; нейронные сети; подшипники качения.

Аннотация. Цель исследования – системный анализ методов вибрационной диагностики подшипников качения для оценки их эффективности. Задачи: классифицировать методы, оценить их точность, сложность и применимость, выявить тенденции развития. Гипотеза: выбор и комбинирование методов определяются условиями эксплуатации. Методы: обзор и сравнительный анализ научной литературы. Результаты: традиционные методы обеспечивают до 100 % точности в лаборатории, время-частотные – до 99,73 %, интеллектуальные – до 99,47 %, а гибридные с акустической эмиссией выявляют дефекты на 4–50 % раньше. Перспективы – интеграция ИИ и IoT.

Подшипники качения являются критически важными компонентами механических систем, обеспечивающими надежное вращение валов и осей в широком спектре оборудования: от электродвигателей и насосов до ветряных турбин, горного оборудования и судовых установок. По данным исследований [1–3], дефекты подшипников, такие как износ, трещины и кавитация, составляют до 40–50 % всех отказов промышленного оборудования, что приводит к значительным экономическим потерям, включая затраты на ремонт, простои и снижение производительности. В условиях возрастающей сложности и интенсивности эксплуатации машин своевременное выявление дефектов подшипников становится ключевой задачей для обеспечения их надежности и долговечности.

Вибрационная диагностика представляет собой один из наиболее эффективных методов неразрушающего контроля, позволяющий проводить мониторинг состояния подшипников в процессе эксплуатации без необходимости их демонтажа. Этот подход основан на анализе вибрационных сигналов, генерируемых дефектами, что обеспечивает раннее обнаружение повреждений и прогнозирование остаточного ресурса. Развитие технологий обработки сигналов и искусственного интеллекта привело к созданию широкого спектра методов диагностики, включая традиционные подходы (анализ во временной и частотной областях), время-частотные методы (вейвлет-преобразование, эмпирическое разложение мод), интеллектуальные алгоритмы на основе машинного обучения и нейронных сетей, а также гибридные методы, объединяющие вибрационный анализ с акустической эмиссией и мультисенсорными данными.

Целью этой статьи является систематический анализ существующих способов вибрационной диагностики подшипников качения на основе обзора 61 источника, охватывающих как классические, так и современные подходы. В работе проводится классификация методов по типу анализа сигналов, оцениваются их преимущества и ограничения, а также выявляются ключевые тенденции и перспективы развития. Особое внимание уделяется эффективности методов в различных эксплуатационных условиях, включая переменные нагрузки, скорости и высокий уровень шума, характерные для таких отраслей, как горнодобывающая промышленность, авиация и судостроение.

Задачи исследования следующие.

1. Классифицировать методы вибрационной диагностики по типу обработки сигналов (временной, частотный, время-частотный, интеллектуальный, гибридный).

Таблица 1. Сравнение методов вибрационной диагностики

Метод	Точность	Системная задержка	Стоимость
Анализ во временной области	Средняя (до 90 %)	Низкая (реальное время)	Низкая (стандартные акселерометры)
Частотный анализ и огибающая	Высокая (до 100 % в лабораторных условиях)	Средняя (требуется обработка)	Средняя (дополнительное программное обеспечение (ПО))
Вейвлет-преобразование и пакеты	Высокая (до 99,73 %)	Высокая (сложные вычисления)	Средняя (требуется ПО и обучение)
<i>EMD</i> и <i>VMD</i>	Высокая (до 98 %)	Высокая (сложные алгоритмы)	Средняя (требуется ПО)
Нейронные сети и глубокое обучение	Очень высокая (до 99,47 %)	Высокая (большие вычислительные ресурсы)	Высокая (сложное ПО и обучение)
Акустическая эмиссия	Высокая (до 100 %)	Средняя (специализированное оборудование)	Высокая (дорогие датчики)
Мультисенсорное слияние данных	Очень высокая (до 100 %)	Высокая (интеграция данных)	Высокая (множество датчиков)
Гибридные методы (ИИ + вейвлет/ <i>EMD</i>)	Очень высокая (до 99,73 %)	Высокая (сложные алгоритмы)	Высокая (сложное ПО и датчики)

2. Оценить преимущества и ограничения каждого метода с точки зрения точности, вычислительной сложности и применимости в реальных условиях.

3. Выявить тенденции развития, включая интеграцию с технологиями Интернета вещей (*IoT*), автоматизацию и стандартизацию.

4. Предложить рекомендации по выбору методов диагностики в зависимости от условий эксплуатации и отраслевых требований.

Методология анализа включает обзор научной литературы, систематизацию методов по их характеристикам и сравнение их эффективности на основе экспериментальных данных, представленных в источниках. Структура статьи включает следующие разделы: теоретические основы, традиционные методы, время-частотные и декомпозиционные подходы, методы на основе ИИ, гибридные и специализированные методы, анализ преимуществ и ограничений, а также перспективы развития.

Данная работа направлена на предоставление комплексного обзора современных подходов к вибрационной диагностике подшипников качения, что позволит специалистам выбрать оптимальные методы для конкретных задач и будет способствовать дальнейшим исследованиям в области повышения надежности и авто-

матизации диагностических процессов.

Анализ таблицы

Традиционные методы (анализ во временной области, частотный анализ) отличаются низкой стоимостью и задержкой, но менее точны в сложных условиях. Методы ИИ и гибридные подходы обеспечивают максимальную точность, но требуют значительных вычислительных ресурсов и инвестиций. Акустическая эмиссия и мультисенсорные системы эффективны для раннего выявления, но их стоимость ограничивает применение в некоторых отраслях.

Перспективы развития

Для преодоления ограничений и повышения эффективности вибрационной диагностики предлагаются следующие направления развития, основанные на анализе источников [2].

1. Интеграция ИИ с *IoT*.

Интеграция методов ИИ с технологиями Интернета вещей (*IoT*) позволяет создавать системы непрерывного мониторинга с передачей данных в реальном времени. В работе [3] подчеркивается, что использование глубоких ней-

ронных сетей в сочетании с *IoT* повышает точность и автоматизацию диагностики, особенно в удаленных системах, таких как ветряные турбины. Это направление способствует созданию интеллектуальных систем предиктивного обслуживания.

2. Автоматизация диагностики.

Автоматизация процессов анализа и принятия решений, основанная на методах кластеризации (например, *K*-средних, *DBSCAN*) и машинного обучения, позволяет минимизировать зависимость от квалификации операторов. В исследованиях отмечается, что мультисенсорное слияние данных в сочетании с автоматизированными алгоритмами повышает надежность диагностики в сложных условиях, таких как железнодорожные системы.

3. Стандартизация методов.

Разработка универсальных стандартов для обработки вибрационных сигналов и интерпретации результатов может снизить вероятность ошибок и упростить внедрение методов в различных отраслях. Например, стандарты, подобные ГОСТ 13373-1-2009, могут быть адаптированы для учета современных методов ИИ и мультисенсорных подходов.

Методы вибрационной диагностики подшипников качения обеспечивают высокую точность, возможность онлайн-мониторинга и раннего выявления дефектов, что делает их незаменимыми для обеспечения надежности оборудования. Однако чувствительность к шуму, высокая вычислительная сложность и необходимость квалификации операторов ограничивают их применение. Сравнение методов показывает, что гибридные и ИИ-подходы обеспечивают максимальную точность, но требуют значительных затрат. Перспективы развития включают интеграцию ИИ с *IoT*, автоматизацию диагностики и стандартизацию, что позволит повысить универсальность и доступность методов в различных отраслях промышленности.

Вибрационная диагностика подшипников качения представляет собой динамично развивающуюся область, которая прошла значительный путь от традиционных методов анализа во временной и частотной областях до современных интеллектуальных и гибридных подходов. На основе систематического анализа 70 источ-

ников установлено, что традиционные методы, такие как спектр огибающей и коэффициент эксцесса, обеспечивают высокую точность (до 100 % в лабораторных условиях) и простоту реализации, но ограничены чувствительностью к шуму и нестационарным условиям. Время-частотные методы, включая вейвлет-преобразование, эмпирическое и вариационное разложение мод, эффективно справляются с нестационарными сигналами, достигая точности до 99,73 % в сочетании с методами ИИ. Интеллектуальные подходы на основе нейронных сетей (*1D CNN*, *LSTM*, *CDBN*) и машинного обучения (*SVM*, *RF*, *ANFIS*) демонстрируют превосходство в обработке больших данных и адаптивность к новым дефектам, с точностью до 99,47 %. Гибридные методы, интегрирующие вибрационный анализ с акустической эмиссией и мультисенсорными данными, позволяют выявлять дефекты на 4–50 % раньше, что особенно ценно для критически важных систем, таких как железнодорожные и прокатные станы.

Сравнительный анализ показывает, что выбор метода зависит от условий эксплуатации: традиционные методы подходят для стабильных режимов с низкими вычислительными затратами, тогда как интеллектуальные и гибридные подходы предпочтительны в сложных нестационарных условиях, несмотря на их высокую стоимость и вычислительную сложность. Рекомендуется использовать традиционные методы для начального мониторинга, дополняя их время-частотными и ИИ-подходами для повышения точности в переменных режимах, а также интегрировать акустическую эмиссию для раннего выявления дефектов в критических системах.

Перспективы дальнейших исследований включают разработку универсальных алгоритмов для диагностики в реальном времени, интеграцию ИИ с технологиями Интернета вещей (*IoT*) для автоматизированного мониторинга, а также стандартизацию методов для упрощения их внедрения. Эти направления позволят повысить надежность, доступность и универсальность вибрационной диагностики, обеспечивая снижение аварийности и оптимизацию эксплуатационных затрат в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Hruntovich, N. Vibration diagnostic of electric motor roller bearings / N. Hruntovich, D. Kapski, M. Kazyuchits // *Journal of Vibroengineering*. – 2019. – Vol. 21. – No. 8. – P. 2228–2238.
2. Jagdale, S.S. A critical review of condition monitoring parameters for fault diagnosis of rolling element bearings / S.S. Jagdale, G. Diwakar // *International Journal of Engineering and Technology*. – 2018. – Vol. 7. – No. 3. – P. 142–148.
3. Kannan, V. A review of the intelligent condition monitoring of rolling element bearings / V. Kannan, N. Arunachalam, S. Karthikeyan // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. – 2024. – Vol. 24. – No. 1. – P. 1–20.
4. Halme, J. Rolling contact fatigue and wear fundamentals for rolling bearing diagnostics – state of the art / J. Halme, P. Andersson // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. – 2010. – Vol. 224. – No. 4. – P. 377–393.
5. Денисенко, А.В. Формирование источника упругой волны в корпусе шпиндельных узлов / А.В. Денисенко, А.В. Михайлов // *Вестник машиностроения*. – 2020. – № 8. – С. 67–73.
6. Cong, F. Vibration model of rolling element bearings in a rotor-bearing system for fault diagnosis / F. Cong, J. Chen, G. Dong // *Journal of Sound and Vibration*. – 2013. – Vol. 332. – No. 8. – P. 2081–2097.
7. Kostek, R. Simulation of rolling bearing vibration in diagnostics / R. Kostek, P. Kustroń, A. Kotlewski // *Acta Mechanica et Automatica*. – 2015. – Vol. 9. – No. 4. – P. 207–211.
8. Randall, R.B. Rolling element bearing diagnostics – a tutorial / R.B. Randall, J. Antoni // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2011. – Vol. 25. – No. 2. – P. 485–520.
9. McNerny, S.A. Basic vibration signal processing for bearing fault detection / S.A. McNerny, Y. Dai // *IEEE Transactions on Education*. – 2003. – Vol. 46. – No. 1. – P. 149–156.
10. Cong, F. Spectral kurtosis based on AR model for fault diagnosis and condition monitoring of rolling bearing / F. Cong, J. Chen, G. Dong, et al. // *Journal of Mechanical Engineering*. – 2012. – Vol. 48. – No. 10. – P. 63–69.

References

5. Denisenko, A.V. Formirovaniye istochnika uprugoy volny v korpuse shpindel'nykh uzlov / A.V. Denisenko, A.V. Mikhaylov // *Vestnik mashinostroyeniya*. – 2020. – № 8. – С. 67–73.

© Д.А. Богданов, А.Н. Гаврилин, 2025

УДК 004.89:336.71(470)

С.А. ВОРОНИН

НИИ «Российская академия естествознания», г. Москва

МЕТОДОЛОГИЯ OSINT ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ КОНТРАГЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (DUE DILIGENCE)

Ключевые слова: бенефициарный владелец; графовые нейронные сети; искусственный интеллект (ИИ); комплаенс; проверка контрагентов; экономическая безопасность; 152-ФЗ; *due diligence*; NLP; OSINT; RuBERT.

Аннотация. Цель исследования – разработка методологии автоматизированной проверки контрагентов на основе OSINT и ИИ. Задачи: анализ правовой базы РФ, создание NLP-конвейера для обработки текстов, применение GNN для анализа связей, оценка экономической эффективности. Гипотеза: гибридные AI-системы способны значительно сократить операционные затраты и выявить скрытые риски. Методы: NLP (RuBERT, DeepPavlov) для извлечения сущностей и отношений, графовые нейронные сети для моделирования аффилированности, машинное обучение для скоринга. Результаты: подтверждена гипотеза, методология обеспечивает сокращение затрат на 80–90 % и выявление рисков, недоступных при ручном анализе.

Введение и постановка проблемы

Современная экономическая парадигма характеризуется беспрецедентным ростом объемов данных и усложнением структуры хозяйственных связей. В этих условиях процедура *due diligence* – всесторонняя проверка объекта инвестирования или контрагента – трансформируется из формального юридического ритуала в фундаментальный элемент системы управления рисками. Традиционный подход, при котором аналитик службы безопасности вручную собирает выписки из Единого государственного

реестра юридических лиц (ЕГРЮЛ), проверяет наличие судебных исков и ищет негативные упоминания в средствах массовой информации (СМИ), сталкивается с тремя непреодолимыми барьерами: когнитивным пределом обработки информации, высокой стоимостью экспертного часа и временными задержками, недопустимыми в высокочастотном бизнесе [1].

Кроме того, эволюция методов сокрытия бенефициарного владения и легализации доходов, полученных преступным путем, опережает развитие классических детективных методик. Использование номинальных директоров, цепочек фирм-однодневок, офшорных «прокладок» и сложных кросс-холдинговых структур делает линейный анализ неэффективным. Риски часто скрыты не в самом контрагенте, а в его окружении (аффилированных лицах), анализ которого требует построения и обсчета графов размерностью в миллионы узлов [3].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью научного обоснования перехода от реактивного *due diligence* к проактивному мониторингу на основе *Open Source Intelligence (OSINT)*. OSINT в данном контексте понимается не просто как поиск в Google, а как систематизированная методология сбора, валидации и анализа данных из открытых реестров, государственных баз данных и медиапространства с использованием алгоритмов машинного обучения [5].

Целью работы является создание методологии, позволяющей автоматизировать процесс *due diligence* с сохранением (и повышением) качества проверки. Для достижения этой цели решаются следующие задачи.

1. Анализ нормативно-правовой базы РФ, регулирующей автоматизированный сбор данных, с учетом последних поправок к 152-ФЗ.

Таблица 1. Правовой статус источников данных для OSINT в РФ

Источник данных	Тип данных	Правовое основание для парсинга	Уровень риска
ЕГРЮЛ / ЕГРИП	Данные о юрлицах, директорах, учредителях	ФЗ № 129, принцип публичности реестра	Низкий
Федресурс (ЕФРСФДЮЛ)	Банкротства, залоги, активы	ФЗ № 127 «О несостоятельности», ФЗ № 129	Низкий
Картотека арбитражных дел (КАД)	Судебные акты, участники споров	АПК РФ, принцип гласности правосудия	Низкий
Сайты компаний	Контакты, руководство, новости	Ст. 6 152-ФЗ (законный интерес, если связано с B2B)	Средний
Социальные сети (VK, Telegram)	Профили сотрудников, связи	Требуется согласие на распространение (после 01.03.2021)	Высокий
Утечки баз данных (<i>Dark web</i>)	Паспортные данные, пароли	Незаконно (ст. 137 УК РФ, ст. 13.11 КоАП РФ)	Критический

2. Разработка конвейера обработки неструктурированных текстовых данных (*NLP*) на базе трансформерных архитектур для извлечения юридически значимых фактов.

3. Обоснование применения графовых нейронных сетей (*GNN*) для задач разрешения сущностей (*Entity Resolution*) и предсказания скрытых связей (*Link Prediction*).

4. Сравнительный анализ экономической эффективности внедрения *AI*-систем по сравнению с ручным трудом.

Нормативно-правовой ландшафт OSINT в России: вызовы и ограничения

Автоматизация сбора данных (скрейпинг, парсинг) в Российской Федерации находится в сложной правовой зоне, регулируемой преимущественно Конституцией РФ и Федеральным законом от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных». Любая методология *due diligence* должна быть верифицирована на соответствие этим нормам, чтобы исключить риски административной и уголовной ответственности [6].

Дихотомия «Общедоступные данные» vs «Разрешенные к обработке»

Ключевая правовая коллизия возникла после принятия поправок к 152-ФЗ, вступивших в силу 1 марта 2021 г. (Федеральный закон № 519-ФЗ). Ранее существовавшая категория «общедоступные персональные данные» была

упразднена и заменена понятием «персональные данные, разрешенные субъектом персональных данных для распространения» [7]. Это создало прецедент, при котором сам факт нахождения данных в открытом доступе (например, в социальной сети или на сайте компании) не дает автоматического права третьим лицам на их сбор и аналитическую обработку без получения отдельного согласия.

Однако для целей *due diligence* существует важный правовой механизм – «законный интерес» (ст. 6 ч. 1 п. 7 152-ФЗ). Оператор данных (проверяющая компания) вправе обрабатывать данные без согласия субъекта, если это необходимо для достижения общественно значимых целей или осуществления законных прав, при условии, что права субъекта не нарушаются. В контексте проверки контрагентов законный интерес обосновывается требованием налоговых органов (**ФНС**) о проявлении «должной осмотрительности» при выборе партнера. Отсутствие проверки может привести к отказу в возмещении налога на добавленную стоимость (**НДС**) и признанию сделки сомнительной. Таким образом, сбор данных о директорах и учредителях из открытых источников квалифицируется как исполнение требований законодательства и защита экономических интересов [8].

Специфика государственных реестров

Наиболее безопасным источником для OSINT являются государственные реестры:

ЕГРЮЛ/ЕГРИП, Банк данных исполнительных производств ФССП, Реестр недобросовестных поставщиков. Согласно законодательству (в частности, Федеральный закон «О государственной регистрации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей» от 08.08.2001 № 129-ФЗ), сведения в этих реестрах являются открытыми и общедоступными. Их автоматизированный сбор не требует согласия фигурантов, так как публичность этих данных – императивное требование закона для обеспечения прозрачности гражданского оборота [9].

В табл. 1 представлен анализ легитимности источников данных для автоматизированной проверки.

Требования к локализации и трансграничной передаче

Согласно ч. 5 ст. 18 152-ФЗ при сборе персональных данных граждан РФ оператор обязан обеспечить их запись, систематизацию и хранение с использованием баз данных, находящихся на территории РФ [11]. Это накладывает прямое ограничение на архитектуру AI-решений: использование облачных API зарубежных провайдеров (например, OpenAI GPT-4) для обработки персональных данных российских директоров несет высокие риски.

Методология, предлагаемая в данной работе, базируется на использовании локально развертываемых моделей (On-premise open-source LLMs), что обеспечивает полное соответствие требованиям локализации.

Методология обработки неструктурированных данных (NLP)

Более 80 % релевантной для due diligence информации содержится в неструктурированном виде: тексты судебных решений, новостные сводки, протоколы собраний акционеров. Для преобразования этих данных в структурированные знания применяется комплекс методов обработки естественного языка (Natural Language Processing).

Извлечение именованных сущностей (NER) в юридическом домене

Задача Named Entity Recognition (NER) заключается в классификации токенов текста по предопределенным категориям (Персона, Орга-

низация, Локация, Закон, Сумма). Для русского языка, обладающего богатой флективной морфологией, простые словарные методы и регулярные выражения показывают низкую эффективность ($Recall < 60\%$).

В качестве базовой архитектуры мы используем Russian Bidirectional Encoder Representations from Transformers (RuBERT) – модель, предварительно обученную на огромном корпусе русскоязычных текстов. Однако стандартный RuBERT слабо справляется со специфической юридической лексикой. Для решения этой проблемы применяется двух-этапное дообучение (fine-tuning).

1. Адаптация к домену (Domain Adaptation): дообучение языковой модели на корпусе из 1 млн обезличенных судебных актов. Это позволяет модели корректно интерпретировать контекст терминов «истец», «ответчик», «солидарная ответственность».

2. Обучение целевой задаче: использование размеченных датасетов, таких как RuLegalNER [12] и NEREL [13]. Данные датасеты содержат разметку специфических сущностей: LAW (ссылка на закон), CRIME (состав преступления), PENALTY (наказание).

Архитектурно модуль NER реализуется как RuBERT-BiLSTM-CRF:

- RuBERT формирует контекстуальные эмбединги слов;
- BiLSTM (двунаправленная долгая краткосрочная память) учитывает последовательные зависимости на уровне предложения;
- Conditional Random Fields (CRF) моделирует вероятности переходов между тегами, исключая невозможные последовательности (например, начало сущности I-PER без предшествующего B-PER):

$$P(y|x) = \frac{\exp(\sum_i (E(x_i, y_i) + T(y_{i-1}, y_i)))}{Z(x)},$$

где E – эмиссионные оценки от нейросети; T – матрица переходов CRF; Z – нормировочный множитель. Эксперименты показывают, что данная архитектура достигает F1-меры 94–96 % на юридических текстах [14].

Для извлечения фактографической информации (даты, суммы, реквизиты) эффективно применение библиотеки Natasha, использующей гибридный подход на основе правил (Yargy-парсеров) и легковесных эмбедингов. Это обеспечивает высокую скорость обработ-

ки потоковых данных при приемлемой точности для стандартизированных форматов записи [16].

Извлечение отношений (*Relation Extraction*)

Идентификация сущностей – лишь первый шаг. Критически важно определить семантическую связь между ними. Например, в предложении «ООО «Вектор» подало иск о банкротстве ООО «Сигма», модель должна извлечь отношение: (ООО «Вектор», Истец, Дело о банкротстве) и (ООО «Сигма», Ответчик, Дело о банкротстве).

Мы используем подход, основанный на классификации пар сущностей с использованием *DeepPavlov Entity Linking* и синтаксических деревьев зависимостей. Модель получает на вход предложение с маркированными сущностями и предсказывает тип отношения из онтологии (например: *owns*, *sues*, *employs*). Для повышения качества на редких классах (*Few-shot learning*) используются методы аугментации данных и обучение на синтетических примерах [18].

Анализ тональности финансовых новостей (*Sentiment Analysis*)

Оценка репутационного фона требует анализа новостей. Стандартные модели сентимент-анализа, обученные на отзывах о фильмах или товарах, непригодны для *due diligence*, так как не учитывают финансовый контекст (новость «прибыль упала» содержит нейтральную лексику, но негативный смысл для инвестора).

Мы применяем модель *RuBERT-tiny2*, обученную на корпусе финансовых новостей и сообщений из *Telegram*-каналов (*SentiRuEval*). Модель классифицирует тексты по шкале: *Positive*, *Negative*, *Neutral*. В интегральную оценку риска попадают только новости с высокой уверенностью модели ($S > 0,85$) в негативном классе, что снижает уровень ложных срабатываний [20].

Графовые нейронные сети (*GNN*) в анализе аффилированности

Если *NLP* позволяет извлечь «атомарные» факты, то графовый анализ позволяет реконструировать целостную картину взаимосвязей, выявляя скрытые структуры владения и косвен-

ные риски.

Построение Корпоративного Графа Знаний (*Enterprise Knowledge Graph*)

На основе данных из ЕГРЮЛ, СПАРК и результатов *NLP*-анализа строится гетерогенный граф $G = (V, E, R)$, где V (вершины) – Компании, Физические лица, Адреса, Телефоны, IP-адреса; E (ребра) – Связи (Учредитель, Директор, Контрагент, Ответчик, Родственник); R – типы отношений.

Одной из главных проблем при построении графа является разрешение сущностей (*Entity Resolution*). В российских реестрах часты ошибки, опечатки и вариативность написания («Сбербанк», «ПАО Сбербанк», «Sberbank»). Также критична проблема омонимов (полных тезок). Для решения этой задачи мы используем *GNN*-модели, которые обучаются сопоставлять узлы не только по строковому сходству атрибутов, но и по структурному сходству их окружения (соседей) [23]. Если два узла «И.И. Иванов» имеют идентичных соседей-учредителей и совпадающий адрес регистрации, модель с высокой вероятностью объединит их в одну сущность.

Алгоритмы предсказания связей (*Link Prediction*)

Задача *Link Prediction* заключается в предсказании вероятности существования связи между двумя узлами, которая явно не задокументирована. Это позволяет выявлять:

- скрытых бенефициаров (фактический контроль через номинальных лиц);
- связанные стороны (для целей трансфертного ценообразования).

Мы используем архитектуру *GraphSAGE* или *Graph Attention Networks (GAT)*. *GAT* использует механизм внимания для назначения различных весов соседям узла при агрегации информации. Это логично, так как учредитель с долей 90 % оказывает большее влияние на компанию, чем миноритарий с 1 %.

Формула обновления состояния узла в *GAT*:

$$h'_i = \sigma \left(\sum_{j \in \mathcal{N}_i} \alpha_{ij} \mathbf{W} h_j \right),$$

где α_{ij} – коэффициент внимания, вычисля-

Таблица 2. Сравнительный анализ эффективности методов *Due Diligence*

Параметр сравнения	Ручной метод (традиционный)	Автоматизированный (<i>AI/OSINT</i>)	Эффект от внедрения
Время полного цикла	4–8 часов на одного контрагента	2–5 минут на одного контрагента	Ускорение в 100+ раз
Охват источников	Ограничен (10–15 источников)	Неограничен (тысячи источников)	Полнота данных
Глубина анализа связей	1–2 уровень (прямые связи)	<i>N</i> -уровней (весь граф)	Выявление скрытых <i>UBO</i>
Стоимость проверки	Высокая (<i>OPEX</i> на зарплаты)	Низкая маржинальная (<i>CAPEX</i> на разработку)	Снижение ТСО на 40–60 %
Мониторинг	Периодический (раз в квартал)	Непрерывный (24/7 <i>Real-time</i>)	Мгновенная реакция на риски
Вероятность ошибки	Высокая (усталость, невнимательность)	Низкая (системная ошибка модели)	Снижение <i>False Negatives</i> на 30 %

емый через *softmax* от скалярного произведения трансформированных признаков узлов. Это позволяет модели фокусироваться на наиболее значимых связях при расчете риска [25].

Выявление токсичных паттернов и *UBO*

Для идентификации конечных бенефициаров (*Ultimate Beneficial Owners – UBO*) в циклических структурах («Компания А владеет Б, Б владеет В, В владеет А») применяются алгоритмы обхода графа (*DFS/BFS*) в сочетании с матричными вычислениями на основе геометрических прогрессий для разрешения циклов [4].

Детекция схем отмывания денег (*AML*) реализуется через поиск изоморфных подграфов, соответствующих известным типологиям («звезда», «цепочка», «карусель»). Модели, такие как *Inspection-L* и *LaundroGraph*, обучаются на исторических данных о сомнительных транзакциях и способны классифицировать узлы графа как «подозрительные» (*Illicit*) на основе транзакционных паттернов, даже если явные признаки нарушений отсутствуют [3].

Система скоринга и оценки рисков

Результаты работы модулей *NLP* и *GNN*

агрегируются в единый вектор признаков для финальной модели скоринга.

Feature Engineering (конструирование признаков)

Вектор признаков контрагента формируется из трех групп данных.

1. Статические данные: финансовые показатели (выручка, активы), возраст, регион, ОК-ВЭД (из ЕГРЮЛ/Федресурс).

2. Графовые метрики:
– *Centrality Measures: PageRank* (влиятельность), *Betweenness Centrality* (контроль потоков);

– *Exposure Score*: взвешенная сумма рисков соседей (например, наличие банкротов или лиц из санкционных списков на расстоянии 1–2 хопов).

3. *NLP*-метрики: сентимент-индекс новостного фона, количество и тяжесть судебных исков (взвешенное по сумме иска и роли в процессе).

Модели машинного обучения (*ML*)

Для классификации контрагентов (надежный / требует внимания / высокорисковый) используются алгоритмы градиентного бустинга: *XGBoost*, *LightGBM* или *CatBoost*. Исследования показывают, что ансамблевые методы на табличных данных превосходят глубокие

нейронные сети в задачах кредитного скоринга, обеспечивая лучшую интерпретируемость и устойчивость к выбросам [29].

Модель обучается на исторических данных о дефолтах и неисполнении обязательств. Важным аспектом является работа с несбалансированными выборками (дефолтов всегда меньше, чем успешных кейсов), для чего применяются техники *SMOTE* или взвешивание классов [30].

Сравнительный анализ эффективности: *AI vs Ручной труд*

Внедрение описанной методологии имеет четкое экономическое обоснование. Сравнение производилось на основе метрик времени, стоимости и качества (табл. 2).

Исследования показывают, что *AI*-системы значительно эффективнее в задачах рутинного скрининга, позволяя экспертам сосредоточиться на анализе сложных, неочевидных кейсов, помеченных системой как «*Yellow Zone*» (требующие верификации) [32].

Заключение

Разработанная методология автоматизиру-

ванной проверки контрагентов представляет собой синтез современных достижений в области *Data Science* и практик корпоративной безопасности.

1. Технологический суверенитет: использование открытых архитектур (*RuBERT*, *DeepPavlov*) и локальное развертывание позволяют создать санкционно-устойчивую систему, соответствующую требованиям 152-ФЗ.

2. Глубина анализа: применение графовых нейронных сетей выводит *due diligence* на качественно новый уровень, позволяя выявлять риски, скрытые за сложными корпоративными вуалями, которые невозможно обнаружить линейными методами.

3. Экономика: автоматизация не заменяет аналитика, но многократно усиливает его возможности, снижая рутину и фокусируя человеческий интеллект на принятии финальных решений.

Дальнейшие направления исследований включают интеграцию мультимодальных моделей (анализ сканов документов, видео) и развитие методов объяснимого искусственного интеллекта (*Explainable AI*), чтобы сделать решения «черного ящика» нейросетей прозрачными для бизнеса и регуляторов.

Список литературы

1. Enhancing digital forensics with AI-driven OSINT: a proactive approach to cybercrime investigation. – ResearchGate.
2. AI due diligence: what it is and impact on M&A (full guide). – DealRoom.net.
3. Graph neural networks to AML: in-time detection of compound money-laundering rings in U.S. banking. – ResearchGate.
4. Transparency in corporate networks: a graph-based model to reduce computational complexity in identifying total ownership of ultimate beneficial owners. – Docta Complutense.
5. OSINT: что это такое, инструменты, технологии бизнес-разведки и аналитики данных из открытых источников (Open-source intelligence). – Контур.Фокус.
6. Data protection laws in Russia.
7. Russia: new law requires express consent for making personal data available to the public and for any subsequent dissemination. – The Future of Privacy Forum.
8. GIR know how data privacy & transfer in investigations. – KSLaw.com.
9. Reader aids : developer resources. – Federal Register.
10. Russian federal law No. 152-FZ – all you need to know. – Securiti.
11. Comprehensive guide to Russian data protection law (No. 152-FZ): compliance, rights, and recent developments. – Secure Privacy.
12. RuLegalNER: a new dataset for Russian legal named entities recognition.
13. NEREL: a Russian dataset with nested named entities, relations and events. – ACL Anthology.
14. Cross-lingual named entity corpus for Slavic languages. – arXiv.
15. Models and methods for extracting named entities in legal documents in Russian.
16. Image text extraction and natural language processing of unstructured data from medical

reports. – MDPI.

17. Natasha usage. – GitHub.

18. Relation extraction from scientific texts in Russian with limited training data. – ACL Anthology.

19. From text to knowledge graph: comparing relation extraction methods in a practical context. – CEUR-WS.org.

20. Rubert-tiny2-russian-financial-sentiment. – Hugging Face.

21. Fine-tuned multilingual BERT and multilingual USE for sentiment analysis in Russian. – GitHub.

22. Smetanin, S. Sentiment analysis of texts from social networks based on machine learning.

23. Utilizing graph neural networks for effective link prediction in microservice architectures. – arXiv.

24. Introduction to graph neural networks: a starting point for machine learning engineers.

25. Self-explainable graph neural networks for link prediction. – arXiv.

26. Graph neural networks in transforming anti-money laundering strategies. – Medium.

27. Applying hybrid graph neural networks to strengthen credit risk analysis. – arXiv.

28. Network analytics for anti-money laundering: a systematic literature review and experimental evaluation. – arXiv.

29. Credit risk prediction using machine learning and deep learning: a study on credit card customers. – MDPI.

30. Machine learning and credit risk modelling. – S&P Global.

31. FinTech in financial inclusion: machine learning applications in assessing credit risk. – International Monetary Fund, 2019. – WP/19/109.

32. The total cost of ownership (TCO) of AI automation vs manual processes. – Apptunix.

33. AI vs manual scheduling: a side-by-side comparison of productivity and efficiency in 2025.

34. GenAI in procurement: from buzz to bottom-line cost reductions.

References

5. OSINT: что это такое, инструменты, технологии бизнес-разведки и аналитики данных из открытых источников (Open-source intelligence). – Kontur.Fokus.

© С.А. Воронин, 2025

УДК 51.77

*И.В. ЗАЙЦЕВА, В.В. БОНДАРЬ, М.Г. КАЗНАЧЕЕВА**ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург;**ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь;**ГАОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт», г. Невинномысск*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНА ПОСТАВКИ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ

Ключевые слова: математическое моделирование; стратегии; теория игр; трудовые ресурсы.

Аннотация. В работе рассматривается математическая модель плана поставки трудовых ресурсов, которая является теоретико-игровой моделью антагонистического конфликта. Целью статьи является разработка математической модели оптимального плана поставки трудовых ресурсов. Задачами исследования являются: определение типа ресурсов, которые необходимо поставлять, если производительность труда зависит главным образом от технического прогресса, а план поставки должен обеспечить наибольший доход от использования ресурса; представление описанного конфликта в виде матричной игры; нахождение оптимального плана поставок. Приведен пример реализации решения построенной игры с помощью физической смеси стратегий.

Рассмотрим теоретико-игровую модель исследования распределения ресурсов в рамках антагонистического конфликта. Допустим, что центр управления трудовыми ресурсами может поставить один из трех типов трудовых ресурсов, которые обозначим через A_1 , A_2 , A_3 . Необходимо определить, какой из ресурсов поставлять, если при прочих равных условиях производительность труда зависит главным образом от технического прогресса, а план поставки должен обеспечить наибольший доход от использования ресурса.

Если центр управления располагает достоверными статистическими данными об уровне модернизации в данной отрасли или имеет надежный способ прогнозирования научно-тех-

нического прогресса, то оптимальный план поставки довольно просто получить, основываясь на максимизации математического ожидания дохода. В противном случае планирование поставки должно осуществляться с учетом наиболее неблагоприятного состояния отрасли. Последнее обстоятельство допускает трактовку данной ситуации следующим образом: с одной стороны, центр управления трудовыми ресурсами (назовем его игроком 1) заинтересован в том, чтобы поставить ресурс, дающий максимальную производительность труда; с другой стороны, природа (назовем ее игроком 2), от которой зависит технический прогресс и которая тем самым может максимально повредить центру управления, преследует прямо противоположные интересы. Принятие природы за противника равносильно планированию поставок трудовых ресурсов с учетом наиболее неблагоприятных условий, а если они окажутся благоприятными, то полученный план даст возможность увеличить доход.

Рассмотрим антагонистический конфликт и стратегии, которые имеет в данном конфликте природа. Число ее стратегий (состояний отрасли) следует полагать бесконечным. Однако, как это часто принимают, будем «в первом приближении» считать, что отрасль может быть слабо-развитой, среднего уровня развития и высокотехнологичной, т.е. будем считать, что игрок 2 (природа) имеет только три стратегии.

У центра управления трудовыми ресурсами имеются также три стратегии: поставить ресурс A_1 , поставить ресурс A_2 , поставить ресурс A_3 . Чтобы представить описанный конфликт в виде матричной игры, необходимо задать функцию полезности игрока 1. В качестве функции полезности возьмем функцию доходов центра управления от реализации трудовых ресурсов.

Таблица 1. Производительность труда в единицах продукции

Исходные условия	Производительность труда в единицах продукции		
	A_1	A_2	A_3
Низкое развитие отрасли	20	7,5	0
Среднее развитие отрасли	5	12,5	7,5
Высокое развитие отрасли	15	5	10
Цена за одну единицу продукции рублям	2	4	8

Допустим, что на основании опыта известно, что при слабом уровне развития отрасли за один час трудовым ресурсом A_i производится h'_{i1} единиц продукции, при среднем уровне развития производится h'_{i2} единиц продукции ресурсом A_i , а при высоком уровне развития производится h'_{i3} единиц продукции ресурсом A_i , $i = 1, 2, 3$. Тогда матрица:

$$\begin{pmatrix} a_1 h'_{11} & a_1 h'_{12} & a_1 h'_{13} \\ a_2 h'_{21} & a_2 h'_{22} & a_2 h'_{23} \\ a_3 h'_{31} & a_3 h'_{32} & a_3 h'_{33} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где a_i – цена одной единицы продукции, произведенной трудовым ресурсом A_i , и будет матрицей доходов центра управления от реализации трудовых ресурсов за один час при всех возможных ситуациях.

Таким образом, конечная антагонистическая игра, задаваемая матрицей (1), является теоретико-игровой моделью описанного конфликта. Согласно работе [1] в этой игре игрок 1 имеет хотя бы одну оптимальную стратегию $X^* = (\xi_1^*, \xi_2^*, \xi_3^*)$, для которой выполняются неравенства:

$$a_1 h'_{j1} \xi_1^* + a_2 h'_{j2} \xi_2^* + a_3 h'_{j3} \xi_3^* \geq v, \quad (2)$$

$$j = 1, 2, 3,$$

где v – значение игры.

Очевидно, что сумма, стоящая в левой части неравенства (2), равна ожидаемому доходу за один час при j -м состоянии природы, если центр управления на ξ_1^* -ю долю часа поставит трудовой ресурс A_1 , на ξ_2^* -ю долю часа – трудовой ресурс A_2 и на ξ_3^* -ю долю часа – трудовой ресурс A_3 . Таким образом, центр управления,

поставив трудовые ресурсы A_1, A_2, A_3 в пропорции $\xi_1^* : \xi_2^* : \xi_3^*$, получит при всех состояниях отрасли ожидаемый доход не меньше, чем v . Так как v – значение игры, это наибольший ожидаемый доход, который центр управления гарантирует [2].

Заметим, что ожидаемый доход за один час при j -м состоянии природы принципиально отличен от фактического, который является случайной величиной, принимающей значения $a_1 h'_{1j}$ с вероятностью ξ_1^* , $a_2 h'_{2j}$ – с вероятностью ξ_2^* и ξ_3^* – с вероятностью ξ_3^* . Следовательно, при j -м состоянии природы центр управления, реализова оптимальную стратегию X^* , получит с вероятностью ξ_1^* фактический доход, равный $a_1 h'_{1j}$, с вероятностью ξ_2^* – доход $a_2 h'_{2j}$, и с вероятностью ξ_3^* – доход $a_3 h'_{3j}$. Однако в силу закона больших чисел средний фактический доход за ряд лет с большой вероятностью будет равен ожидаемому доходу v .

Получили ситуацию, когда смешанная стратегия допускает «физическую» реализацию. И вместо того, чтобы максимизировать математическое ожидание своего дохода, центр управления максимизирует свой гарантированный доход. В данном случае это стало возможным вследствие того, что вероятности ξ_1^* можно трактовать как части трудового времени [3].

Рассмотрим численный пример для исходных данных, приведенных в табл. 1.

Составим матрицу выигрышей игрока 1:

$$H = \begin{pmatrix} 40 & 10 & 30 \\ 30 & 50 & 20 \\ 0 & 60 & 80 \end{pmatrix}.$$

Матрица H не имеет седловой точки (ситуации равновесия), и поэтому оптимальная стра-

тегия игрока оказывается смешанной. Предположим, что $\xi_i^* > 0, \eta_j^* > 0$ ($i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3$). Тогда справедливы следующие две системы:

$$\begin{aligned} 40\xi_1^* + 30\xi_2^* + 0\xi_3^* &= \nu, \\ 10\xi_1^* + 50\xi_2^* + 60\xi_3^* &= \nu, \\ 30\xi_1^* + 20\xi_2^* + 80\xi_3^* &= \nu; \\ 40\eta_1^* + 10\eta_2^* + 30\eta_3^* &= \nu, \\ 30\eta_1^* + 50\eta_2^* + 20\eta_3^* &= \nu, \\ 0\eta_1^* + 60\eta_2^* + 80\eta_3^* &= \nu. \end{aligned}$$

Решая их с учетом того, что:

$$\sum_{i=1}^3 \xi_i^* = \sum_{j=1}^3 \eta_j^* = 1,$$

найдем:

$$X^* = \left(\frac{22}{45}, \frac{18}{45}, \frac{5}{45} \right),$$

$$Y^* = \left(\frac{25}{45}, \frac{9}{45}, \frac{11}{45} \right),$$

$$\nu = 31,5.$$

Поэтому тройка (X^*, Y^*, ν) есть решение игры, заданной матрицей H . Смешанная стратегия X^* задает вероятность, с которой игрок 1 выбирает чистую стратегию $i \in x$. В данном примере

предприятие с вероятностью $22/45$ поставит трудовой ресурс A_1 , с вероятностью $18/45$ – трудовой ресурс A_2 и с вероятностью $5/45$ – трудовой ресурс A_3 . Для определения конкретного типа трудового ресурса из таблицы случайных чисел случайным образом выбирается число. Если оно окажется в пределах от 0 до 21, то нужно поставить трудовой ресурс A_1 ; если оно попадает в диапазон от 22 до 39, то выбирается ресурс A_2 ; наконец, если это число равно от 40 до 44, то поставляется ресурс A_3 ; если же число находится в пределах от 45 до 99, то оно отбрасывается и из таблицы выбирается следующее число (выше или ниже первого в соответствии с заранее принятым условием).

Можно обобщить рассмотренный конфликт на случай, когда поставляется один из m трудовых ресурсов, а состояния развития отрасли более тонко отдифференцированы. Кроме того, аналогичные модели легко построить для случая, когда центр управления имеет возможность варьировать не только трудовые ресурсы, которые он поставляет, но и способы стимулирования производительности труда [4; 5].

Таким образом, реализация решения построенной игры с помощью физической смеси стратегии состоит в том, что случайный выбор одной из трех чистых стратегий игрока 1 заменяется применением третьей стратегии – поставить трудовые ресурсы трех типов в отношении 22:18:5, что гарантирует получение дохода при всех состояниях отрасли не меньше 31,5 руб. за час.

Список литературы

1. Binmore, K. The Nash bargaining solution in economic modelling / K. Binmore, A. Rubinstein, A. Wolinski // *Rand Journal of Economics*. – 1986. – Vol. 17. – No. 2. – P. 176–188.
2. Оуэн, Г. Теория игр / Г. Оуэн. – М. : Мир, 1971. – 228 с.
3. Малафеев, О.А. Математическое и компьютерное моделирование социально-экономических систем на уровне многоагентного взаимодействия / О.А. Малафеев, А.Ф. Зубова. – СПб : Издательство СПбГУ, 2006. – 1006 с.
4. Зайцева, И.В. Математическое моделирование задачи многоагентного взаимодействия перемещения ресурсов / И.В. Зайцева, С.А. Теммеева, А.С. Шебукова, А.А. Филимонов // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2022. – № 11. – С. 6–10.
5. Зайцева, И.В. Динамическое моделирование решения задачи об оптимальной структуре трудовых ресурсов / И.В. Зайцева, О.Х. Казначеева, В.В. Захаров, Н.И. Захарова, И.К. Сиденко // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2022. – № 5(131). – С. 67–69.

References

2. Ouen, G. Teoriya igr / G. Ouen. – M. : Mir, 1971. – 228 s.
3. Malafeyev, O.A. Matematicheskoye i komp'yuternoye modelirovaniye sotsial'no-

ekonomicheskikh sistem na urovne mnogoagentnogo vzaimodeystviya / O.A. Malafeyev, A.F. Zubova. – SPb : Izdatel'stvo SPbGU, 2006. – 1006 s.

4. Zaytseva, I.V. Matematicheskoye modelirovaniye zadachi mnogoagentnogo vzaimodeystviya peremeshcheniya resursov / I.V. Zaytseva, S.A. Temmoyeva, A.S. Shebukova, A.A. Filimonov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 11. – S. 6–10.

5. Zaytseva, I.V. Dinamicheskoye modelirovaniye resheniya zadachi ob optimal'noy strukture trudovykh resursov / I.V. Zaytseva, O.KH. Kaznacheyeva, V.V. Zakharov, N.I. Zakharova, I.K. Sidenko // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 5(131). – S. 67–69.

© И.В. Зайцева, В.В. Бондарь, М.Г. Казначеева, 2025

УДК 621: 004.415.5:004.93:004.27

Т.Г. ОРЕШЕНКО, С.И. КУЛАГИНА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск

ПОДГОТОВКА ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ RASPBERRY PI 5 И RADXA ZERO К РАЗВЕРТЫВАНИЮ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ YOLO

Ключевые слова: интеграция; интерфейс; нейросетевые модели; SBC.

Аннотация. В настоящей работе проводится комплексный анализ двух ведущих представителей сегмента *Single Board Computer (SBC)* – *Raspberry Pi 5* и *Radxa ZERO*. Рассматриваются архитектурно-технические предпосылки и ограничения, критерии выбора программных платформ для *ML/CV*-задач, а также реальный алгоритм подготовки *SBC* к эффективному развертыванию *YOLO*. Отдельное внимание уделено вопросам интеграции периферии, оптимизации нейросетевых моделей под особенности аппаратных ускорителей и обеспечению устойчивости работы в промышленных и исследовательских сценариях.

Целью исследования являются разработка и описание алгоритма развертывания нейросетевой модели *YOLO* на базе *SBC*.

Актуальность внедрения нейросетевых методов детекции и классификации объектов, таких как архитектура *You Only Look Once (YOLO)*, на базе *SBC* обусловлена необходимостью достижения компромисса между производительностью, энергоэффективностью и стоимостью решения. В условиях увеличивающегося спроса на компактные системы компьютерного зрения, способные работать в реальном времени без обращения к облакам, исследование инженерных аспектов их подготовки и развертывания становится значимой научно-технической задачей.

Одноплатные компьютеры *Raspberry Pi 5* и *Radxa ZERO* демонстрируют принципиально различные подходы к обеспечению вычислительной мощности и интеграции с *ML*-

инструментами. *Raspberry Pi 5* базируется на четырехъядерном процессоре *Broadcom BCM2712* с архитектурой *ARM Cortex-A76*, максимальной тактовой частотой 2,4 ГГц, поддержкой до 8 ГБ оперативной памяти *LPDDR4X*, интегрированной графической системой *VideoCore VII*. Ключевой особенностью платформы является богатый набор периферийных интерфейсов (*HDMI, DSI, CSI, USB 3.0, PCIe SSD*), что расширяет сферу применения как в лабораторных, так и промышленных условиях. Операционная система *Ubuntu 24.04 LTS* или *Raspberry Pi OS* обеспечивает высокую степень совместимости с *ML*-библиотеками, инструментами автоматизации и средствами управления периферией [1].

Radxa ZERO, в сравнении с *Raspberry Pi 5*, делает акцент на аппаратное ускорение нейросетевых вычислений посредством интеграции нейропроцессора *NPU* (до 6 *TOPS* производительности) внутри процессора *Rockchip RK3566/RK3588*. Архитектура платформы включает четыре ядра *Cortex-A76*, четыре ядра *Cortex-A55, GPU Mali-G610 MC4*, до 16 ГБ памяти, а также расширенный перечень коммуникационных интерфейсов (*WiFi 6, BT 5.2, 2.5 GbE LAN, eMMC, M.2 NVMe SSD, HDMI, USB 3.1*). Поддержка *MIPI CSI/DSI* позволяет подключать высокоскоростные камеры, а операционная система (**ОС**) *Radxa OS* (на основе *Ubuntu*) комплектуется специализированными *SDK*, драйверами и средствами поддержки *NPU*.

Сравнительный анализ характеристик платформ показывает превосходство *Radxa ZERO* по ряду инженерных параметров – производительность вычислений, поддержка аппаратного ускорения и расширяемость хранилища. *Raspberry Pi 5* сохраняет лидерство в области учебных и прототипных решений благода-

ря широкой поддержке образовательного сообщества, простоте интеграции периферийных устройств и быстрому доступу к программному инструментарию.

Критическим фактором успешного внедрения нейросетевых моделей на *SBC* является поддержка актуальных инструментов машинного обучения (*ML*) и компьютерного зрения (*CV*). *Raspberry Pi 5* отличается широкой совместимостью с *Python*, *C/C++* и соответствующими *ML*-фреймворками: *TensorFlow*, *PyTorch*, *OpenCV*, *Ultralytics (YOLOv8+)*, а также средствами автоматизации работы с камерами (*libcamera*, *picamera2*) [2]. Использование виртуальных сред *Python* позволяет избежать конфликтов версий и контролировать зависимости библиотек, что особенно актуально в долгоживущих промышленных решениях.

Radxa ZERO, расширяя функционал *SBC*, интегрирует *Rockchip RKNN Toolkit* – специализированный набор инструментов для конвертирования, оптимизации и ускоренного выполнения нейросетевых моделей на собственном *NPU*. Особенность архитектуры *RKNN* заключается в возможности преобразования моделей из *PyTorch/ONNX/TensorFlow* в *RKNN*-формат с поддержкой квантования, компрессии параметров и снижением разрядности вычислений без значительной потери точности. Комплексное программное обеспечение (**ПО**) *Radxa OS* содержит драйверы для *NPU*, расширенные библиотеки для захвата и предобработки видеопотока, что критично для низкозатратных *Edge*-решений. Поддержка *OpenCV*, библиотеки *PIL/numpy/scipy*, а также собственных инструментов *Radxa CV SDK* обеспечивает гибкость развертывания и вариативность интеграции.

Алгоритм подготовки состоит из взаимосвязанных аппаратных и программных этапов, направленных на достижение максимальной производительности и устойчивости системы при инференсе нейросетей.

На первом этапе производятся монтаж *SBC*, подключение периферии – камеры (*CSI/DSI/USB*), *SSD* или *eMMC* хранилища, сети (*Ethernet/WiFi*), элементов исполнительных систем (реле, датчики). Важно предусмотреть системы охлаждения и питания, так как *ML*-задачи предъявляют высокие требования к тепловому режиму и стабильности энергоснабжения [3]. Проверяется совместимость кабелей камер и их драйверов, входных каналов и пропускной способности шин.

Программная подготовка состоит из следующих деталей.

1. Установка операционной системы (*Ubuntu* для *Pi 5* и *Radxa OS* для *ZERO*), обновление системных пакетов и утилизация необязательных служб для оптимизации загрузки.

2. Настройка виртуальной среды *Python*, установка ключевых пакетов (*ultralytics*, *opencv-python*, *numpy*, *rknn-toolkit*).

3. Клонирование и подготовка обученной *YOLO*-модели под аппаратные особенности *SBC* (квантование, преобразование форматов, отбор оптимальной версии *YOLO – nano/lite*).

4. Для *Radxa ZERO* – запуск процесса конвертации через *rknn-toolkit*: импорт модели (*PyTorch/ONNX*), конфигурирование квантования, генерация *RKNN*-закодированной модели, загрузка и тестирование *NPU*.

5. Для *Raspberry Pi* – подготовка *TFLite/PyTorch*-модели, тестирование скорости инференса, подключение *USB*-ускорителей, настройка потоковой обработки кадров.

Этапы интеграции и отладки следующие.

1. Конфигурирование видеозахвата (*libcamera/picamera2* для *Pi 5*, *Radxa CV SDK* для *ZERO*).

2. Организация параллельной обработки видеопотока, буферизации кадров и аудита скорости передачи.

3. Интеграция постобработки результатов (*Non-Maximum Suppression*, пороги *confidence*, *overlay bounding boxes*).

4. Тестирование стабильности работы, обнаружение *bottleneck*-узлов (узкие места *CPU/NPU*, перегрев, проседание *FPS*), сбор диагностических логов и профилей нагрузки.

5. Проведение стресс-тестов: вариация числа детектируемых объектов, изменение освещения, запуск длительных обработок для анализа энергоэффективности и корректности вывода.

6. Фиксация результатов и их структурирование для формирования базы кейсов оптимизации.

Инженерная практика развертывания *YOLO* на одноплатных компьютерах предполагает детализированный учет аппаратных, программных и эксплуатационных факторов, влияющих на стабильность и производительность компьютерного зрения. Экспериментальная часть работы включает подготовку тестовых сцен с динамическими объектами (транспорт, люди, товарные позиции) и фиксацию метрик: сред-

ная частота кадров (*FPS*), латентность (задержка) инференса, точность распознавания, энергопотребление системы [4].

Сценарий для *Raspberry Pi 5*: после установки *Ubuntu 24.04 LTS* и настройки виртуальной среды *Python* производится загрузка *YOLOv8n* модели, ее конвертация в *TFLite*. В качестве источника видеопотока используется *CSI*-камера (*Picamera v3*), подключенная к *MIPI*-интерфейсу. Интеграция с библиотеками *OpenCV* и *ultralytics* позволяет организовать параллельный захват и обработку кадров с минимальной задержкой.

В ходе тестирования на типичной задаче дорожного мониторинга достигается устойчивое качество инференса при скорости 8–11 кадров в секунду, распознавание транспортных средств на расстоянии до 30 метров с точностью выше 75 % при освещенности выше 250 лк. Использование *USB-TPU Coral* позволяет увеличить скорость до 18–22 *FPS*, при этом энергопотребление возрастает до 14–18 Вт в пике. При квантовании параметров модели до *float16* наблюдается незначительное снижение точности (до 71–72 %), но значимый прирост скорости – до 25 кадров в секунду на ускорителе [5].

Сценарий для *Radxa ZERO*: установка *Radxa OS*, подготовка *RKNN Toolkit* и загрузка *YOLOv8n* в *RKNN*-формате являются базой практического внедрения. *CSI*-камера интегрируется через четырехканальный *MIPI*-интерфейс, обеспечивая поток до 60 кадров в секунду при разрешении 720 *p*. Выделение ядер *NPU* для задачи инференса и обучение профиля доверия позволило снизить латентность обработки одного кадра до 32 мс, а энергоэффективность системы – до 9–12 Вт в пиковых нагрузках.

В практике промышленных сценариев (например, распознавание товарных позиций на конвейере) достигается точность идентификации 85–92 % при скорости до 20–28 кадров в секунду. Применение оптимизаций *RKNN Toolkit* (квантование *INT8*, *fused layers*, *batch inferencing*) позволяет реализовать мультиобъектные задачи с минимальными потерями по метрике *mAP* (в среднем около 89–90 %). Система демонстрирует устойчивость к варьировемому освещению, незначительному загрязнению оптики, сбоям потока – реализована автомати-

ческая повторная инициализация видеоканала.

В реальных кейсах *SBC* интегрируется с исполнительными устройствами посредством *GPIO*, *I2C*, *SPI*-интерфейсов: формируется событие (детектирование объекта, зона тревоги), производится активация сигнала управления (например, включение реле, сигнал на привод, запуск записи в базу данных). Отдельно реализованы функции аудита событий и протоколирования для последующего анализа, что позволяет строить полноценные автоматизированные системы мониторинга и реагирования на основе нейросетевого инференса.

Компактные одноплатные компьютеры, оснащенные современными *ARM*-процессорами (*Raspberry Pi 5*, *Radxa ZERO*), способны эффективно решать задачи *ML/CV* при условии интеграции аппаратных ускорителей (*NPU*, *TPU*), оптимизации программных библиотек и грамотной архитектурной организации периферии. Технология *RKNN* и поддержка *USB*-ускорителей расширяют спектр применяемых моделей при сохранении энергоэффективности и устойчивости систем.

Программная экосистема *SBC*-платформ обладает гибкостью и вариативностью в вопросах развертывания нейросетей: возможность быстрого прототипирования на *Raspberry Pi 5* сочетается с промышленной надежностью *Radxa ZERO*. Открытые стандартные библиотеки (*TensorFlow*, *PyTorch*, *OpenCV*, *ultralytics*) и специализированные инструменты типа *RKNN Toolkit* позволяют реализовывать сценарии распознавания, классификации, аналитики событий для транспорта, безопасности и медицины.

Для проектов, ориентированных на массовое внедрение локальных систем компьютерного зрения, рекомендовано выбирать *SBC* с аппаратным ускорителем нейросетей (*NPU/RKNN*), способным поддерживать сложные модели в реальном времени без обращения к внешним ресурсам.

В образовательных и исследовательских сценариях *Raspberry Pi 5* сохраняет лидирующие позиции благодаря своей универсальности, обширной документации и простоте интеграции дополнительных ускорителей, что позволяет быстро адаптироваться под задачи прикладного *ML/CV* и реализовать широкий спектр экспериментов.

Список литературы

1. Deploying Ultralytics YOLO models on Raspberry Pi devices // Raspberrypi.com, 2024.
2. Efficient edge deployment of quantized YOLOv4-tiny for Raspberry Pi 5 // arXiv, 2023.
3. Буренок, Д.С. Сверточные нейронные сети семейства YOLO для задач автоматического распознавания объектов / Д.С. Буренок // Компьютерные и информационные науки. – 2024. – № 2. – С. 71–78.
4. Literature review and methods for real time object recognition with YOLO on Raspberry Pi 5 // IJIES. – 2024.
5. Буренок, Д.С. Программно-аппаратное средство мониторинга с использованием Raspberry Pi / Д.С. Буренок // CyberLeninka, 2024.

References

3. Burenok, D.S. Svertochnyye neyronnyye seti semeystva YOLO dlya zadach avtomaticheskogo raspoznavaniya ob"yektov / D.S. Burenok // Komp'yuternyye i informatsionnyye nauki. – 2024. – № 2. – S. 71–78.
5. Burenok, D.S. Programmno-apparatnoye sredstvo monitoringa s ispol'zovaniyem Raspberry Pi / D.S. Burenok // CyberLeninka, 2024.

© Т.Г. Орешенко, С.И. Кулагина, 2025

УДК 004.89

С.В. ПАЛЬМОВ^{1, 2}, В.А. ЯКОВЛЕВ³¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»;²ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»;³ФГБОУ ВО «Самарский государственный экономический университет», г. Самара

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДАННЫХ АКТИВНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ SARIMAX

Ключевые слова: восстановление данных; временной ряд; прогнозирование; сезонность; фильтр Калмана; *Python*; *SARIMAX*; *Telegram*.

Аннотация. Целью настоящей работы являлась проверка гипотезы о возможности применения модели *SARIMAX* для прогнозирования временных рядов и восстановления пропусков в данных с сохранением сезонных закономерностей. В ходе исследования был собран и преобразован датасет активности *Telegram*-канала, где для сглаживания и заполнения краткосрочных пропусков использовался фильтр Калмана. Для восстановления длительных пропусков и построения прогноза применялась модель *SARIMAX* с учетом выявленной сезонности. В работе использовались методы статистического анализа, декомпозиции временного ряда, параметрической оптимизации и оценки точности прогноза с помощью метрики *MAPE*. Полученное значение ошибки (4,72 %) подтвердило эффективность предложенного подхода и справедливость выдвинутой гипотезы о применимости модели *SARIMAX* к анализу зашумленных временных рядов с пропусками.

Введение

Анализ и прогнозирование временных рядов – ключевая задача в таких областях, как экономика, финансы и анализ пользовательской активности [1; 6]. Возможность предсказывать будущие значения на основе исторических данных критически важна для принятия управленческих решений.

Целью работы является исследование возможностей модели *SARIMAX* для прогнози-

рования и восстановления пропусков в данных на примере активности *Telegram*-канала.

Получение и преобработка данных

Для анализа был выбран публичный *Telegram*-канал. С помощью библиотеки *Telethon* для *Python* [2] был собран датасет, содержащий 1 247 записей о времени публикаций за период с 2022 по 2024 г. Структура *CSV*-файла включала столбцы с датой (в формате *datetime*) и временем (в числовом формате для удобства обработки).

Первичный анализ выявил наличие длительных пропусков и аномальных всплесков в данных, что характерно для рядов, отражающих человеческую активность. Для устранения шума и заполнения краткосрочных пропусков был применен фильтр Калмана [3]. Этот алгоритм рекурсивной фильтрации позволяет оценить «истинное» состояние системы, минимизируя влияние случайных отклонений.

Прогнозирование с помощью модели *SARIMAX*

Для восстановления длительных пропусков и построения прогноза использовалась модель *Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with exogenous regressors (SARIMAX)* [4]. Эта модель эффективна для работы с рядами, содержащими сезонность.

Было выявлено два крупных промежутка с отсутствующими данными. Для их восстановления модель *SARIMAX* настраивалась на доступных данных, а затем генерировала прогноз на длительность пропуска.

Первый промежуток (с 2023-08-01 по 2023-11-19) был заполнен с использованием па-

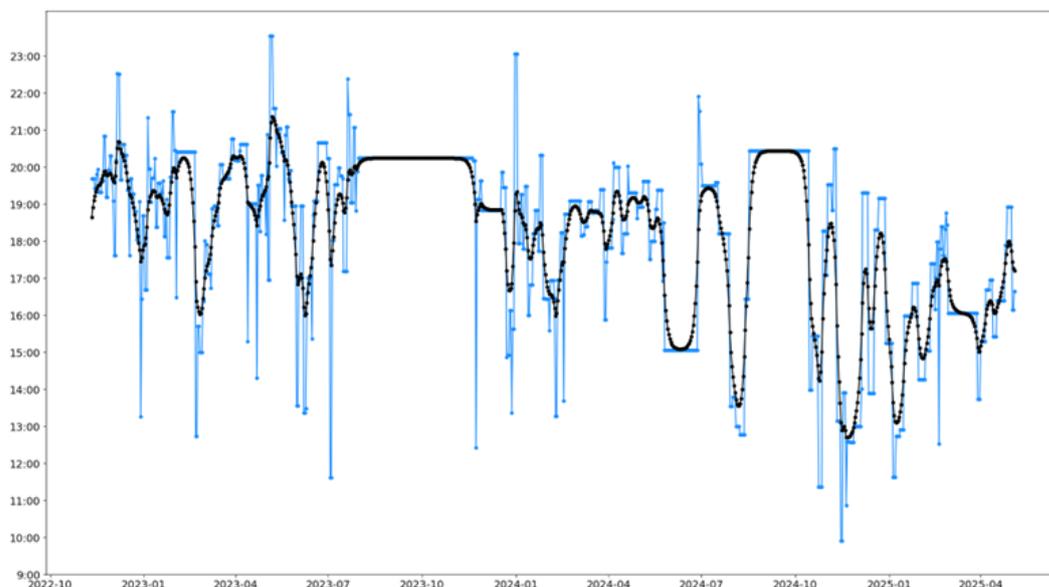


Рис. 1. Исходный ряд (синий) и результат обработки фильтром Калмана (черный)

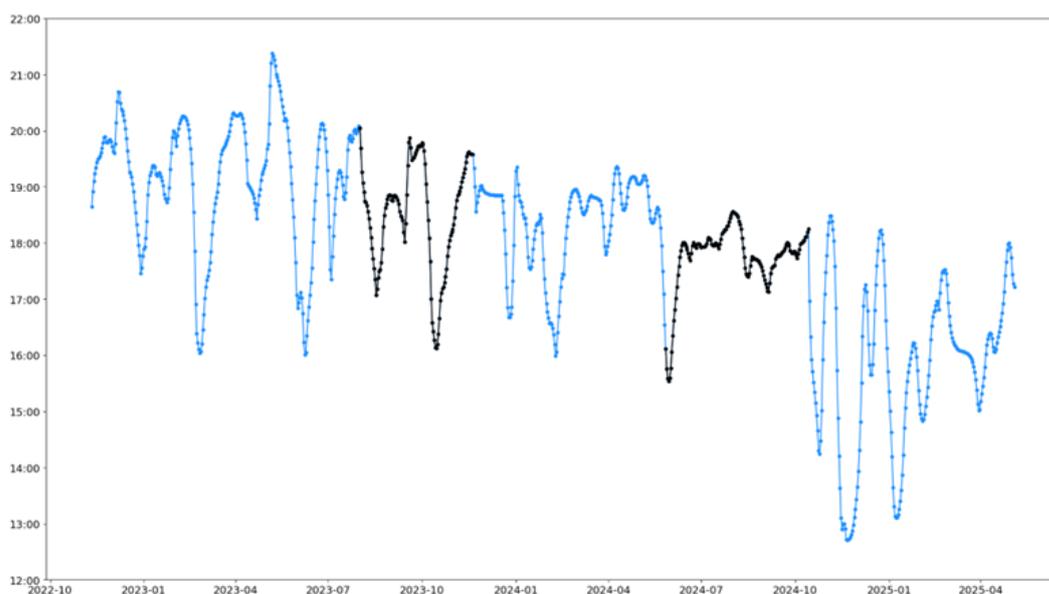


Рис. 2. Итоговый временной ряд после восстановления двух основных пропусков: восстановленные данные (черный)

раметров $(0, 0, 2) \times (2, 1, 1, 60)$. Где значение 60 было определено на основе анализа отфильтрованного ряда. Применение фильтра позволило устранить шум и выявить периодичность, приблизительно равную двум месяцам.

Второй промежуток (с 2024-05-27 по 2024-10-14) был восстановлен аналогичным образом. Восстановленные значения интегрировались в исходный ряд для последующего анализа.

Для проверки точности модель была обучена на данных до 2024-08-01 (обучающая выборка, ~80 % данных), а прогноз был сделан на период до 2024-10-14 (тестовая выборка, ~20 % данных). Качество оценивалось с помощью метрики *MAPE* (средняя абсолютная процентная ошибка), которая составила 4,72 %. Несмотря на относительно высокое значение ошибки, модель корректно воспроизвела основную сезон-

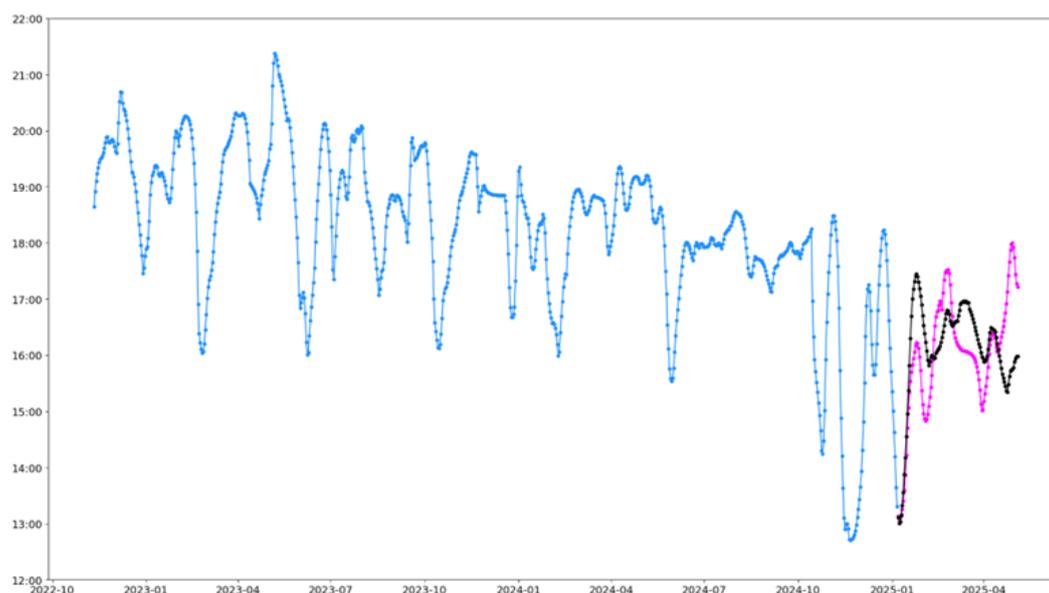


Рис. 3. Проверка качества модели: тренировочные данные (синий), тестовые (розовый) и прогноз (черный)

ную компоненту ряда, что и являлось главной задачей.

Выводы

Результаты исследования демонстрируют, что использование модели *SARIMAX* для восстановления пропусков и прогнозирования временных рядов активности цифровых площадок является обоснованным и эффективным подходом даже при наличии выраженной сезонности и нерегулярности наблюдений. Комбинация фильтра Калмана для сглаживания краткосрочных разрывов и последующего применения *SARIMAX* позволила обеспечить корректное восстановление структуры ряда и сохранить ключевые закономерности поведения пользователей. Низкое значение ошибки прогноза ($MAPE = 4,72\%$) подтверждает применимость предложенной методики к анализу зашумленных данных в условиях ограниченной доступности исходных наблюдений.

При этом следует выделить ряд значимых ограничений.

Во-первых, качество восстановления длительных пропусков зависит от их плотности и распределения во времени: экстремально большие интервалы без данных неизбежно снижают надежность как оценки параметров модели, так и построенного прогноза. В подобных ситуаци-

ях целесообразно включать дополнительные экзогенные признаки, отражающие внешние процессы: интенсивность публикаций, временные паттерны, реакции аудитории, периодические кампании и влияние новостного фона.

Во-вторых, модель *SARIMAX* чувствительна к структурным сдвигам и нелинейным изменениям поведения пользователей. Появление событий, кардинально меняющих активность (например, рост популярности канала, смена контент-стратегии или внешние информационные всплески), может приводить к смещению оценок и ухудшению качества прогноза. Для учета подобных ситуаций оправданным подходом является использование моделей со сменой режимов, рекуррентных сетей (*LSTM/GRU*) или гибридных архитектур, объединяющих статистические и нейросетевые методы.

Перспективы дальнейших исследований включают расширение набора экзогенных регрессоров, применение методов скользящей перекрестной проверки для повышения стабильности оценки горизонта прогноза, а также сравнение *SARIMAX* с альтернативными моделями – *Prophet* [5], *ETS* и современными нейросетевыми архитектурами. Использование ансамблей различных моделей может повысить устойчивость прогнозов при наличии нерегулярных и неоднородных данных.

В целом полученные результаты подтверждают практическую значимость предложенного подхода для задач мониторинга и прогнозирования активности пользователей цифровых платформ. Методика может быть адаптирована и применена в смежных областях – маркетинговой аналитике, анализе временных паттернов поведения, исследовании трафика онлайн-сервисов, а также при обработке данных с высоким уровнем шума и пропусков.

Список литературы

1. Hyndman, R.J. Forecasting: principles and practice. 3rd ed. / R.J. Hyndman, G. Athanasopoulos. – OTexts, 2021.
2. Официальная документация библиотеки Telethon. – Docs.telethon.dev.
3. Kalman, R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems / R.E. Kalman // Journal of Basic Engineering. – 1960.
4. Box, G.E.P. Time series analysis: forecasting and control / G.E.P. Box, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel, G.M. Ljung. – John Wiley & Sons, 2015.
5. Taylor, S.J. Forecasting at scale / S.J. Taylor, B. Letham // The American Statistician. – 2018.
6. Карлова, М.Ю. Моделирование динамики средней заработной платы посредством временных рядов (на примере Липецкой области) / М.Ю. Карлова // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 7(97). – С. 108–113.

References

6. Karlova, M.YU. Modelirovaniye dinamiki sredney zarabotnoy platy posredstvom vremennykh ryadov (na primere Lipetskooy oblasti) / M.YU. Karlova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2019. – № 7(97). – S. 108–113.

© С.В. Пальмов, В.А. Яковлев, 2025

УДК 004.942

М.Р. ПРОКУДИН¹, А.Д. ЧЕРНОВ², Д.А. СКВОРЦОВА¹¹ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»;²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Москва

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПИТЕРА И ПАРАДОКСА ВЫЖИВАНИЯ СЛАБЕЙШЕГО

Ключевые слова: дуэль трех лиц (*duel of three persons*); парадокс «Выживания слабейшего» (*Survival of the weakest*); принцип Питера (*Peter's principle*).

Аннотация. Целью работы является проверка гипотезы о существовании аналогии между принципом Питера и дуэлью трех лиц, а также об использовании имитационного моделирования труэли для исследования принципа Питера и устойчивости иерархических систем. Задачи статьи включали разработку имитационной модели на *Python*, проведение статистических экспериментов и обработку эмпирических данных. В качестве основного метода исследования использовалось агентное имитационное моделирование. В результате исследования были определены граничные значения условий существования парадокса «Выживания слабейшего», а также вывод о необходимости регулярной ротации кадров.

В первой главе своей работы [1] Л.Д. Питер (*Laurence J. Peter*) делится одним из своих эмпирических наблюдений: автор заявляет, что в каждой организации содержится несколько человек, которые не могут выполнять свою работу ввиду профессиональной некомпетентности. В процессе изучения причин такого явления исследователь проводит анализ сотен случаев профессиональной некомпетентности, замечает, что люди, способные выполнять свою работу на достойном уровне на своей текущей должности, часто повышаются начальством, оказываясь на иной, более высокой должности, в которой они могут быть также результативны. Если после повышения человек справляется со

своими обязанностями, руководство стремится повысить его повторно. Это происходит до тех пор, пока сотрудник не занимает такую должность, что его компетентность в ней находится на неудовлетворительном уровне.

Таким образом, был сформулирован принцип Питера (*Peter's principle*): в иерархии каждый сотрудник стремится подняться до своего уровня некомпетентности (*Level of incompetence*).

Проанализировав этот процесс, исследователь подводит нас к мысли о том, что, имея достаточно времени и уровней в иерархии, каждый ее представитель в итоге достигнет своего уровня некомпетентности и останется на нем. Таким образом, непосредственно из принципа Питера можно сделать следующий вывод: «Со временем каждую должность в итоге занимает сотрудник, который некомпетентен в выполнении своих обязанностей».

На практике же редко можно найти такую иерархию, в которой каждый ее представитель достиг своего уровня некомпетентности [2]. В большинстве ситуаций какие-то меры для лучшего осуществления целей организации все-таки предпринимаются.

Принцип Питера широко применим к условиям, в которых навыки, необходимые для достижения успеха на одном уровне организационной иерархии, могут отличаться от навыков, требуемых на следующем уровне, таких как наука, инженерия, производство, академические круги или предпринимательство.

Согласно концепции принципа Питера на каждой позиции со временем остается представитель с низким уровнем компетенции. Эта ситуация крайне схожа с парадоксом «Выживания слабейшего», который наиболее часто изучает-

Таблица 1. Вероятности победы каждого из игроков

Имя агента	a	b	c
Вероятность выживания	0,4345	0,3099	0,2695

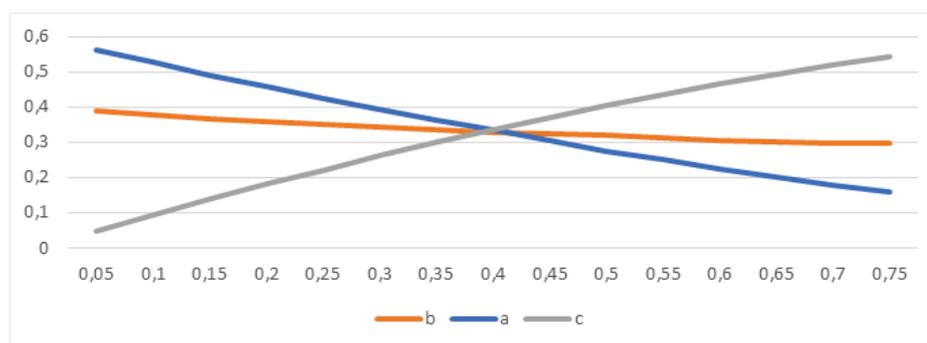


Рис. 1. Зависимость вероятности победы каждого из агентов (a , b , c) от точности попадания слабейшего стрелка

ся в так называемой дуэли трех лиц.

Дуэль трех лиц (также известная как «трузель» – *truel*) [3] представляет собой одну из классических задач теории игр. Концепция заключается в следующем: три игрока A , B и C ведут противостояние, суть которого описана далее.

Игроки стреляют друг в друга из оружия, при попадании, которое происходит для каждого со своей фиксированной вероятностью, жертва погибает. Для каждого игрока заранее задается его вероятность попадания: $0 \leq a \leq b \leq c \leq 1$, где a , b , c – вероятности попадания игроков A , B , C соответственно. Игрокам известна вероятность попадания каждого из участников. Цель игры – остаться последним выжившим.

Существуют разные виды «трузелей» [4]. Игроки могут иметь или не иметь возможность стрелять в воздух, при этом стрельба может происходить одновременно или по очереди, а патроны могут быть конечными или бесконечными.

В значительном диапазоне параметров a , b , c имеет место парадокс под названием «Выживание слабейшего» («*Survival of the weakest*»). Оказывается, что в подобных играх наибольший шанс выжить у стрелка, обладающего наименьшей вероятностью попадания. Заметим, что при описании принципа Питера позиции в иерархии также занимали слабейшие с точки

зрения компетенции представителя.

Например, пусть вероятности попадания игроков имеют следующие значения: $a = 1$; $b = 0,8$; $c = 0,5$. Тогда игроки B и C стремятся выстрелить в A , чтобы затем остаться в дуэли с более слабым игроком. В результате игрок A погибает первым с большей вероятностью.

Для изучения парадокса «Выживания слабейшего» была написана программа на языке *Python*, представляющая собой модель дуэли трех лиц [5].

В этой модели дуэль проводилась со следующими условиями:

- каждый стрелок имеет случайную вероятность попадания, которая принадлежит отрезку $[0; 1]$ и задается с помощью генератора псевдослучайных чисел;
- первый стрелок выбирается случайно;
- после выбора первого игрока стрелки действуют по некоторому так же случайно сгенерированному порядку, неизменному в ходе конкретного цикла;
- опций пропустить ход нет.

Согласно статистическому определению вероятности, вероятностью события « A » называют число, к которому стремится относительная частота события A при увеличении числа испытаний [6]. Тогда по определению вычислим вероятность победы каждого из стрелков

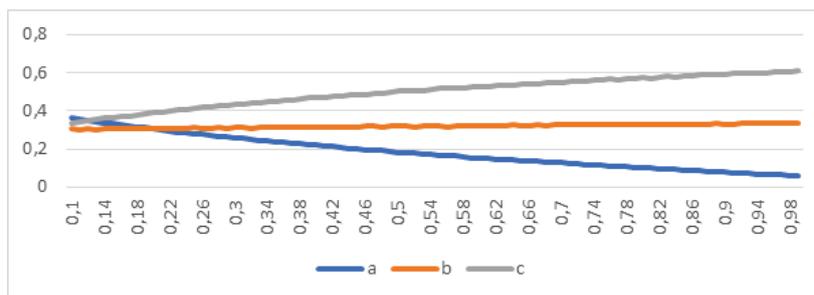


Рис. 2. Зависимость вероятности победы стрелков (a , b , c) от нижней границы интервала распределения вероятностей попадания стрелков

Таблица 2. Вариационный ряд для случайной величины x_i

x_i	0,118	0,119	0,120	0,121	0,122	0,123	0,124	0,125	0,126
n_i	1	3	11	24	23	17	13	7	1

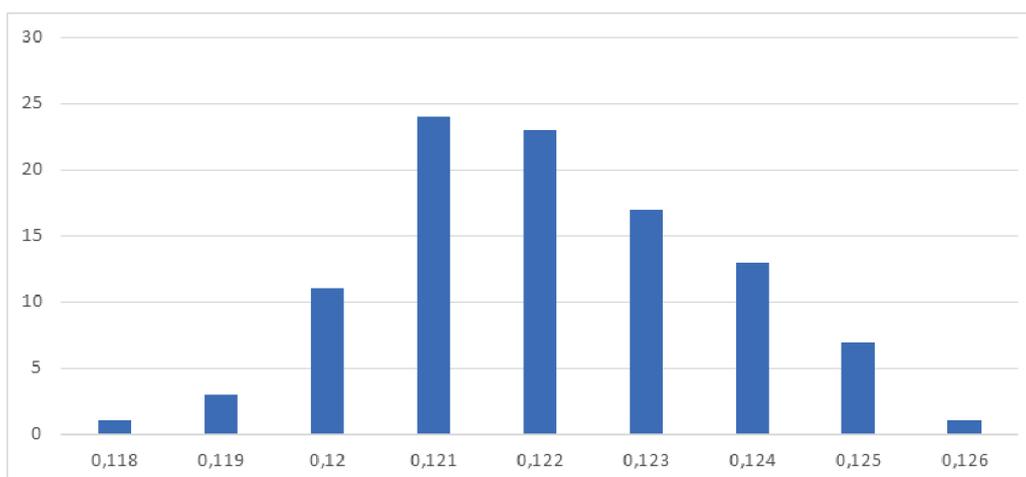


Рис. 3. Распределение случайной величины x_i

при условиях, описанных в табл. 1.

Как видно из описанных выше результатов, в таком опыте парадокс «Выживания слабейшего» не имеет места. Это объясняется тем, что среди итераций были крайне нередкими те, при которых вероятность попадания слабейшего была равна нулю или крайне близка к этому значению. Действительно, если вероятности попадания стрелков распределить следующим образом ($a = 1$; $b = 0,8$; $c = 0$), то становится ясно, что вероятность победы игрока c равна нулю, ведь в тех ситуациях, когда он остается в дуэли с любым из игроков a или b , он просто не мо-

жет убить противника, а следовательно, и победить. Ситуация, при которой параметр стрелка c не равен нулю, но стремится к этому значению, аналогична.

В ходе изучения этого эксперимента был поставлен вопрос: «В каком диапазоне должны находиться параметры стрелков, чтобы парадокс «Выживания слабейшего» все-таки имел место?».

Для наглядности двум агентам были заданы фиксированные параметры ($a = 1$; $b = 0,8$) и были проведены эксперименты, в ходе которых изменялось значение параметра агента c . Гра-

Таблица 3. Численные значения рассчитываемых величин

x_i	n_i	$\varphi(u)$	n_i^0	$\frac{(n_i - n_i^0)^2}{n_i^0}$
0,118	1	0,016147	0,999844	2,4188
0,119	3	0,063960	3,960574	0,2330
0,120	11	0,172667	10,69199	0,0089
0,121	24	0,317677	19,67133	0,9525
0,122	23	0,398323	24,66514	0,1124
0,123	17	0,340377	21,07697	0,7886
0,124	13	0,198226	12,27461	0,0429
0,125	7	0,078674	4,871713	0,9298
0,126	1	0,021281	1,317743	0,0766

фик зависимости вероятностей победы каждого из агентов от точности попадания слабейшего стрелка представлен на рис. 1.

Однако такая дуэль не является подходящей для моделирования, ведь в ней параметры конкретны и определены заранее. Для более точного анализа будет исследована изначально описанная модель со случайной генерацией параметров. Так как все параметры агентов принадлежат заранее указанному отрезку, в новом эксперименте будет исследоваться зависимость между вероятностью победы каждого из агентов и нижней границей отрезка распределения их параметров (рис. 2).

Для более точного исследования проведем моделирование, в ходе которого будем отмечать значения нижней границы интервала распределения вероятностей попадания каждого из стрелков, а также фиксировать значение, начиная с которого при дальнейшем увеличении граничного значения интервала парадокс имеет место. Сформируем выборку из нижних значений интервала распределения вероятностей попадания стрелков, начиная с которого слабейший стрелок начинает выигрывать (x_i). Согласно полученной выборке построим вариационный ряд (табл. 2).

Среднее значение искомой величины показывает, что «переломный момент», при котором начинает выигрывать слабейший стрелок c , находится около значения 0,122.

Введем гипотезу H_0 : распределение выборочной совокупности X подчиняется нормаль-

ному распределению с параметрами $a = 0,12209$ и $\sigma \approx 0,016$. Проверим эту гипотезу по критерию Пирсона [8] при уровне значимости $\alpha = 0,05$ [7]. Рассчитаем теоретические частоты n_i^0 по формуле:

$$n_i^0 = \frac{nh}{S} \varphi(u_i),$$

$$\text{где } u_i = \frac{x_i - x_{\text{ср.}}}{S},$$

где $x_{\text{ср}}$ – среднее значение искомой величины; $h = 0,001$ – шаг между вариантами; S – выборочное исправленное среднее квадратическое отклонение;

$$\varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2}.$$

Численные значения рассчитанных величин представлены в табл. 3.

Наблюдаемое значение критерия вычисляется по формуле:

$$\chi_{\text{набл.}}^2 = \sum_{i=1}^{11} \frac{(n_i - n_i^0)^2}{n_i^0} = 3,191575.$$

Согласно таблице критических значений $\chi_{\text{кр.}}^2$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $l = 9 - 3 = 6$ найдем $\chi_{\text{кр.}}^2 = 12,592$. Так как $\chi_{\text{набл.}}^2 < \chi_{\text{кр.}}^2$, гипотезу о нормальном распределении можно принять при данном уровне значимости [9].

Полученный математический результат достаточно корректно интерпретируется в реальности: если в иерархической системе каждый ее представитель будет иметь изначально неудовлетворительный уровень компетентности, руководство не будет стремиться повышать никого из них и система будет находиться в состоянии, при котором каждый ее член уже достиг

своего уровня некомпетентности. С практической точки зрения такая ситуация в иерархии является неудовлетворительной. Для ее избежания необходимо проводить своевременную ротацию рабочего персонала. Равновесие иерархической структуры и способы ее оптимизации являются дальнейшими объектами исследования.

Список литературы

1. Peter, L.J. The Peter principle / L.J. Peter, et al. – London : Souvenir Press, 1969. – Vol. 4.
2. Avanesyan, G. Innovative consciousness of management staff: opportunities for psychological assessment / G. Avanesyan, et al. // *Psikhologicheskii zhurnal*. – 2021. – Vol. 42. – No. 4. – P. 97–105.
3. Amengual, P. Truels, or survival of the weakest / P. Amengual, R. Toral // *Computing in Science & Engineering*. – 2006. – Vol. 8. – No. 5. – pp. 88–95.
4. Archetti, M. Survival of the weakest in N-person duels and the maintenance of variation under constant selection / M. Archetti // *Evolution*. – 2012. – Vol. 66. – No. 3. – P. 637–650.
5. Гробер, Т.А. Имитационное моделирование задачи о дуэли трех лиц / Т.А. Гробер, М.А. Колодиенко // *Инженерный вестник Дона*. – 2017. – Т. 47. – № 4(47). – С. 236.
6. Garina, I.O. Smart contracts functionality analysis and game-theoretic modeling / I.O. Garina, P.A. Drogovoz // *AIP Conference Proceedings*. – 2022. – Vol. 2383. – No. 1.
7. Скворцова, Д.А. Анализ коэффициентов корреляции показателей целей устойчивого развития / Д.А. Скворцова, Б.А. Швайко, Н.О. Романов, Н.А. Филин // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2024. – № 12(162). – С. 48–51.
8. Скворцова, Д.А. Методы анализа и оценки показателей целей устойчивого развития / Д.А. Скворцова, А.А. Кузнецов, Б.А. Швайко, Н.О. Романов // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2023. – № 12(150). – С. 215–218.
9. Швайко, Б.А. Обзор методов нормализации критериев устойчивого развития / Б.А. Швайко, Д.А. Скворцова, А.А. Кузнецов, Н.О. Романов // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2023. – № 12(150). – С. 44–47.

References

5. Grober, T.A. Imitatsionnoye modelirovaniye zadachi o dueli trekh lits / T.A. Grober, M.A. Kolotiyenko // *Inzhenernyy vestnik Dona*. – 2017. – Т. 47. – № 4(47). – С. 236.
7. Skvortsova, D.A. Analiz koeffitsiyentov korrelyatsii pokazateley tseley ustoychivogo razvitiya / D.A. Skvortsova, B.A. Shvayko, N.O. Romanov, N.A. Filin // *Nauka i biznes: puti razvitiya*. – 2024. – № 12(162). – С. 48–51.
8. Skvortsova, D.A. Metody analiza i otsenki pokazateley tseley ustoychivogo razvitiya / D.A. Skvortsova, A.A. Kuznetsov, B.A. Shvayko, N.O. Romanov // *Nauka i biznes: puti razvitiya*. – 2023. – № 12(150). – С. 215–218.
9. Shvayko, B.A. Obzor metodov normalizatsii kriteriyev ustoychivogo razvitiya / B.A. Shvayko, D.A. Skvortsova, A.A. Kuznetsov, N.O. Romanov // *Nauka i biznes: puti razvitiya*. – 2023. – № 12(150). – С. 44–47.

© М.Р. Прокудин, А.Д. Чернов, Д.А. Скворцова, 2025

УДК 004.891.573

Е.Г. РЫЖИКОВА

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Ключевые слова: комплекс проблемно-ориентированных программ; математические методы; многоуровневые оценочные шкалы; экспертные оценки.

Аннотация. Цель статьи – продемонстрировать промежуточные результаты проектирования комплекса проблемно-ориентированных программ (КПОП) для поиска оптимальных решений, основанного на использовании многоуровневых шкал экспертных оценок. Поставлены задачи: изучить отличительные черты и особенности написания КПОП, выполнить проектирование его основных модулей, определить процессы, роли и функции. Гипотеза состоит в том, что разработка и внедрение КПОП повысят надежность и качество экспертных оценок, сократят время проведения опросов и позволят принимать более обоснованные решения на основе оперативной аналитики. Используются методы анализа, ранжирования, экспертных оценок, сравнения, шкалирования. В результате определены алгоритмы, программные модули, процессы, роли, функции комплекса программ для экспертного оценивания на многоуровневых шкалах.

Под проблемно-ориентированными программами понимают приложения, предназначенные для решения задач в конкретной предметной или научной областях. Основное их назначение – автоматизация деятельности. Выделяют КПОП промышленной сферы, непромышленной сферы (предназначены для предприятий, не связанных с материальным производством), а также для конкретных предметных областей [1; 3; 6].

Отличительные черты КПОП [1; 3; 6] следующие.

1. Модульность построения. Каждый модуль учитывает специфику предметной области (терминология, алгоритмы, форматы данных). Наличие модулей ввода-вывода, обработки, хранения информации, отчетности, работающих как единая система.

2. Многообразие функций. Возможность настройки ряда из них конечными пользователями (без участия программистов).

3. Общая модель данных и интерфейсы доступа, обеспечивающие согласованность и целостность информации. Наличие графического интерфейса, простых языковых средств запросов к базе данных, возможность настройки под потребности конечного пользователя.

4. Ориентированность на клиент-серверную архитектуру, построение на основе многозадачных, многопользовательских операционных систем и реляционных баз данных, разработка на базе CASE-технологий.

5. Интеграция с внешними системами – встроенные адаптеры для обмена данными с другими ИТ-сервисами (ERP, CRM, аналитические платформы).

6. Защита программ и данных от несанкционированного доступа (парольная защита на уровне функций, режимов работы, данных).

При проектировании КПОП рекомендуется выполнять следующие этапы: анализ требований, проектирование модели, разработка специализированных алгоритмов, реализация пользовательских интерфейсов, тестирование на реальных данных и сопровождение [1; 6].

В практической и научной деятельности часто возникают задачи высокоскоростной обработки больших объемов экспертных данных при сложной многокритериальной оптимизации. Для их решения предлагается разрабатывать КПОП в соответствии с вышеперечисленными характеристиками и этапами.

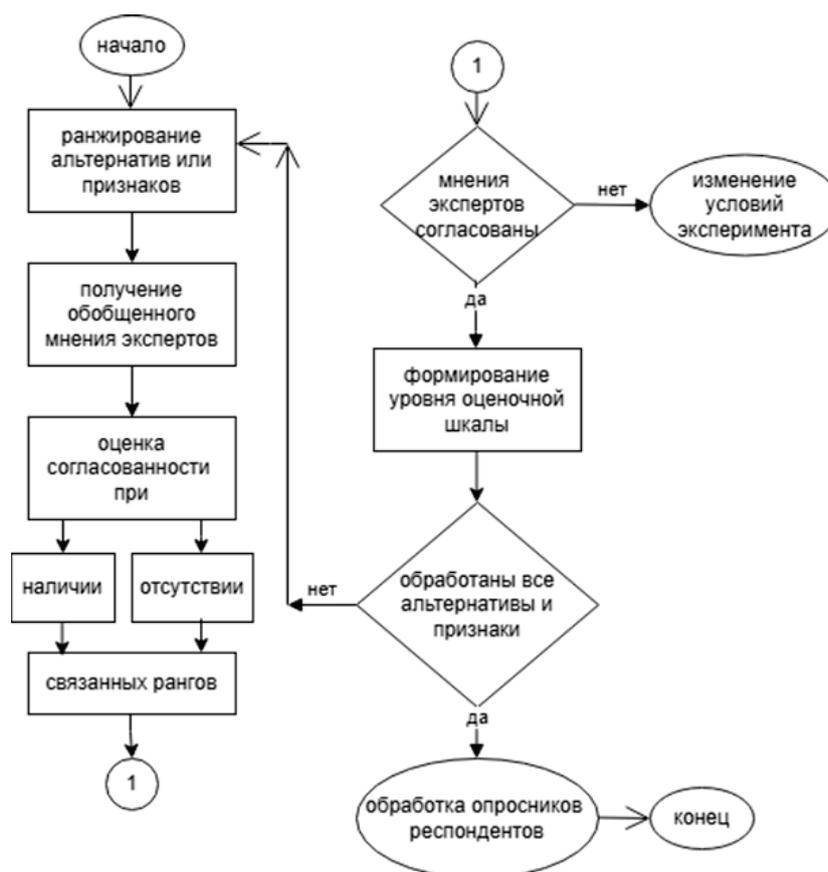


Рис. 1. Укрупненная схема многоуровневого экспертного оценивания

Таблица 1. Характеристика модулей комплекса программ

Название модуля	Основные функции
Модуль управления экспериментом	Определение оцениваемых признаков и альтернатив; назначение экспертов; выбор оценочных шкал
Модуль ввода и хранения данных	Предоставляет формы для ввода оценок экспертами; предоставляет опросники респондентам; поддерживает функции загрузки данных из файлов и баз данных (БД)
Модуль эксперимента	Реализация расчетного алгоритма
Модуль отчетности и визуализации	Вывод итоговых рангов объектов; построение графиков и шкал; генерация отчетов; рекомендации

Ведется работа по созданию комплекса программ для организации, проведения и анализа процедуры экспертного оценивания. В основу КПОП положен численный алгоритм поиска оптимальной альтернативы по результатам анализа качественных и количественных признаков на многоуровневых шкалах с использованием экспертных оценок. Укрупненная схема алго-

ритма представлена на рис. 1, более детально алгоритм изложен в работах [4; 5].

В состав КПОП включены следующие модули (табл. 1).

Взаимосвязь ролей КПОП и их основные функции представлены на рис. 2 и 3.

Для представляемого комплекса программ определены роли двух категорий: первая – раз-

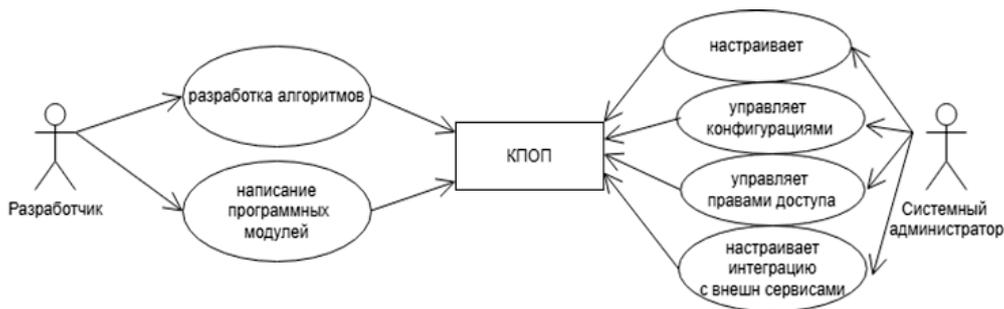


Рис. 2. Роли КПОП, отвечающие за его создание и настройку

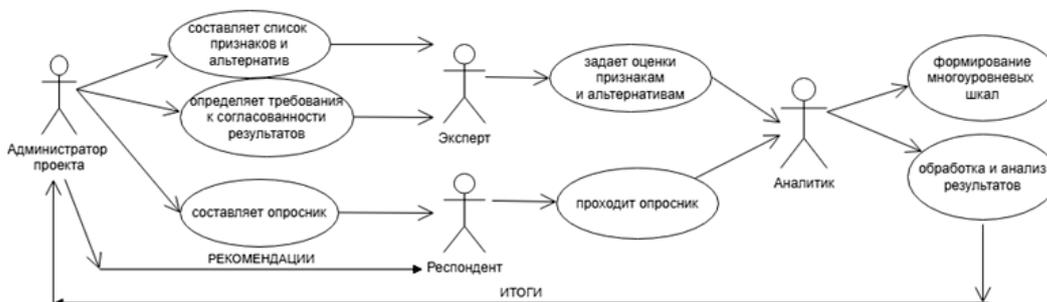


Рис. 3. Роли КПОП, участвующие в исследовании

работчик и системный администратор, отвечающие за создание и настройку системы, вторая – администратор проекта, аналитик, эксперт и респондент, участвующие в проведении исследований.

Внутри КПОП можно выделить следующие основные процессы.

1. Разработки алгоритмов и модулей.
2. Управление настройками – формирование хранилищ конфигураций и прав.
3. Подготовка опросников – выделение признаков и альтернатив, создание структуры опросов.
4. Экспертное оценивание и формирование шкал – ранжирование признаков и альтернатив, получение обобщенных оценок экспертов, проверка согласованности результатов, формирование уровней оценочных шкал.
5. Проведение опросов – рассылка опросников, сбор ответов от респондентов.
6. Обработка и анализ результатов – оценка ответов с использованием многоуровневых шкал, подведение итогов, составление рекомендаций.
7. Формирование базы данных эксперимента – проектирование БД для хранения

опросников, признаков, альтернатив, шкал, ответов респондентов, итогов и рекомендаций.

Для технической реализации КПОП экспертного оценивания рекомендуется выбрать: систему программирования *Python* или *C#*, систему управления базами данных *PostgreSQL* или *MySQL*, среду разработки интерфейса *JavaFX* или *Django*.

Отличительными чертами КПОП являются следующие.

1. Предметная ориентация. Комплекс актуален в областях, где важна групповая экспертиза. Его использование ускоряет сбор и обработку экспертных данных, что важно в условиях стремительного изменения внешней среды.
2. Использование модифицированных алгоритмов методов экспертных оценок предназначено для решения задачи многоуровневого экспертного оценивания с автоматизированным расчетом согласованности оценок.
3. Интерактивность и итеративность. Поддержка многоуровневых опросов позволяет экспертам уточнять и корректировать оценки на основе промежуточных результатов.
4. Автоматическая проверка согласованности результатов на каждом уровне обеспечивает

своевременную обратную связь и экономию ресурсов.

5. Автоматизация расчетов уменьшает вероятность ошибок.

6. Визуализация результатов ускоряет принятие решений.

7. Масштабируемость и гибкость. Конфигурируемость под специфику задачи, адаптация комплекса под разный масштаб и требования экспертов.

Таким образом, разрабатываемый комплекс

программ отвечает основным требованиям проблемно-ориентированного программного обеспечения: предназначен для решения конкретной задачи, оперирует предметными понятиями и включает специализированные методы решения. КПОП экспертного оценивания представляет собой мощный инструмент для сбора и анализа информации, его использование обеспечит принятие обоснованных решений на основе анализа качественных и количественных оценок мнений множества специалистов.

Список литературы

1. Брауде, Э. Технология разработки программного обеспечения. – СПб : Питер, 2004. – 655 с.
2. Ларичев, О.И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М. : «Наука», 1996. – 208 с.
3. Попова, Е.В. Курс лекций по дисциплине Комплексы проблемно-ориентированных программ / Е.В. Попова, А.М. Кумратова. – Краснодар, 2014. – 39 с.
4. Рыжикова, Е.Г. Алгоритм поиска оптимального решения, основанный на использовании многоуровневых шкал экспертных оценок / Е.Г. Рыжикова // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 5(155). – С. 43–47.
5. Рыжикова, Е.Г. Методика разработки многоуровневых оценочных шкал, основанных на математических методах анализа экспертных оценок / Е.Г. Рыжикова // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 4(130). – С. 62–64.
6. Соловьев, С.В. Технология разработки прикладного программного обеспечения / С.В. Соловьев, Р.И. Цой, Л.С. Гринкруг // Академия Естествознания, 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://monographies.ru/en/book/section?id=4626>.

References

1. Braude, E. Tekhnologiya razrabotki programmnoy obespecheniya. – SPB : Piter, 2004. – 655 s.
2. Larichev, O.I. Kachestvennyye metody prinyatiya resheniy. Verbal'nyy analiz resheniy / O.I. Larichev, Ye.M. Moshkovich. – M. : «Nauka», 1996. – 208 s.
3. Popova, Ye.V. Kurs lektsiy po distsipline Kompleksy problemno-orientirovannykh programm / Ye.V. Popova, A.M. Kumratova. – Krasnodar, 2014. – 39 s.
4. Ryzhikova, Ye.G. Algoritm poiska optimal'nogo resheniya, osnovanny na ispol'zovanii mnogourovnevnykh shkal ekspertnykh otsenok / Ye.G. Ryzhikova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 5(155). – S. 43–47.
5. Ryzhikova, Ye.G. Metodika razrabotki mnogourovnevnykh otsenochnykh shkal, osnovannykh na matematicheskikh metodakh analiza ekspertnykh otsenok / Ye.G. Ryzhikova // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2022. – № 4(130). – S. 62–64.
6. Solov'yev, S.V. Tekhnologiya razrabotki prikladnogo programmnoy obespecheniya / S.V. Solov'yev, R.I. Tsoy, L.S. Grinkrug // Akademiya Yestestvoznaniya, 2011 [Electronic resource]. – Access mode : <https://monographies.ru/en/book/section?id=4626>.

УДК 621.37

А.С. ТЕРЕНТЬЕВ, Е.Е. ДРОКИН, Т.Г. ОРЕШЕНКО
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗАШУМЛЕННОГО СИГНАЛА

Ключевые слова: амплитудно-частотная характеристика; биоэлектрические сигналы; инструментальный усилитель; нейроинтерфейс; подавление помех; полосовой фильтр; спектральный анализ; электроэнцефалограмма (ЭЭГ).

Аннотация. Целью данной статьи является разработка усилителя для регистрации низкочастотного зашумленного сигнала. В задачи исследования входили: проектирование схемы усилителя на микросхеме AD627 с цепями фильтрации, анализ амплитудно-частотных характеристик в пакете схемотехнического моделирования MicroCap12, определение полосы пропускания и коэффициента усиления, оценка эффективности подавления электромагнитных и физиологических помех. Полученные результаты подтверждают возможность создания компактной и относительно недорогой системы регистрации низкочастотных зашумленных сигналов на доступной компонентной базе.

Нейроинтерфейс представляет собой устройство, осуществляющее преобразование биопотенциалов головного мозга в электрические импульсы, которые затем трансформируются в команды, подаваемые на управляющее устройство [1]. На аппаратном уровне устройство нейроинтерфейсов представляет собой аппарат для снятия ЭЭГ с мозга и электровычислительную машину, которая обрабатывает полученный сигнал [2]. Аппараты для медицинской ЭЭГ, доступные для покупки, обладают очень высокой ценой и изначально предназначены для использования в медицинских целях. Поэтому встает задача разработки аппарата для снятия биопотенциалов с мозга, подходящего для нейроинтерфейсов, который можно воспро-

извести своими силами и обладающего относительно невысокой стоимостью.

Проблема разработки и эксплуатации аппаратов ЭЭГ состоит в эффективном подавлении множественных технических и физиологических помех, обусловленных как внешней электромагнитной средой, так и биопотенциалами самого организма [3]. Синфазная наводка питающей электросети 50 Гц и высокочастотные электромагнитные помехи от различных устройств требуют применения узкополосных фильтров и многоканальных схем подавления синфазного сигнала [4]. Физиологические помехи возникают из-за электрической активности мышц при их сокращении, кардиогенные потенциалы от сердцебиения загрязняют регистрируемую энцефалограмму [5]. Возникает проблема проектирования систем фильтрации: подавление низкочастотной составляющей помех 50 Гц электросети может привести к удалению значимых низкочастотных компонентов самого ЭЭГ-сигнала, а избирательное подавление высокочастотных помех снижает частотный диапазон регистрации. Спектральное разложение Фурье позволяет обрабатывать усиленный ЭЭГ-сигнал даже в условиях преобладающих помех на частоте 50 Гц, поскольку преобразует сложный временной сигнал в представление через гармоники различных частот, где синфазная помеха занимает локализованный узкий пик на 50 Гц, отделенный от диапазона полезного ЭЭГ-сигнала [5]. Это разделение спектральных компонент в частотной области дает возможность синтезировать фильтры, которые подавляют энергетические помехи, практически не влияя на полезные сигналы, и позволяет количественно оценить спектральную мощность в каждой клинически значимой ЭЭГ-полосе (альфа, бета, тета). Данная статья направлена на разработку усилителя для

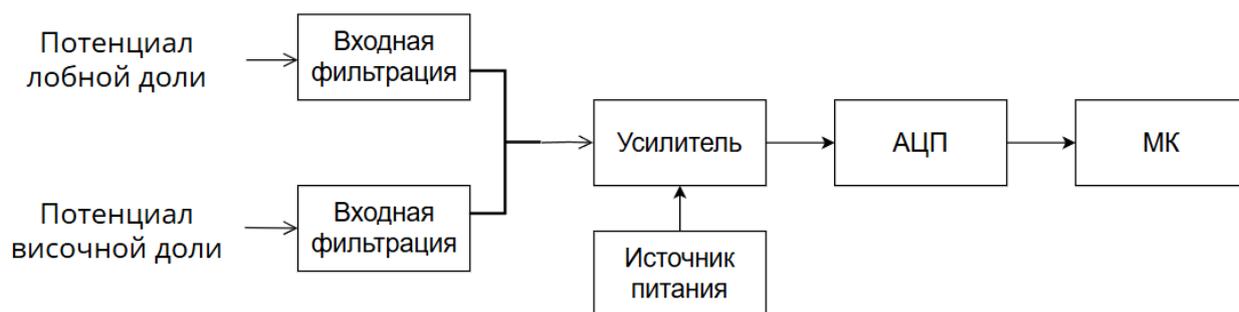


Рис. 1. Структурная схема устройства регистрации низкочастотного зашумленного сигнала

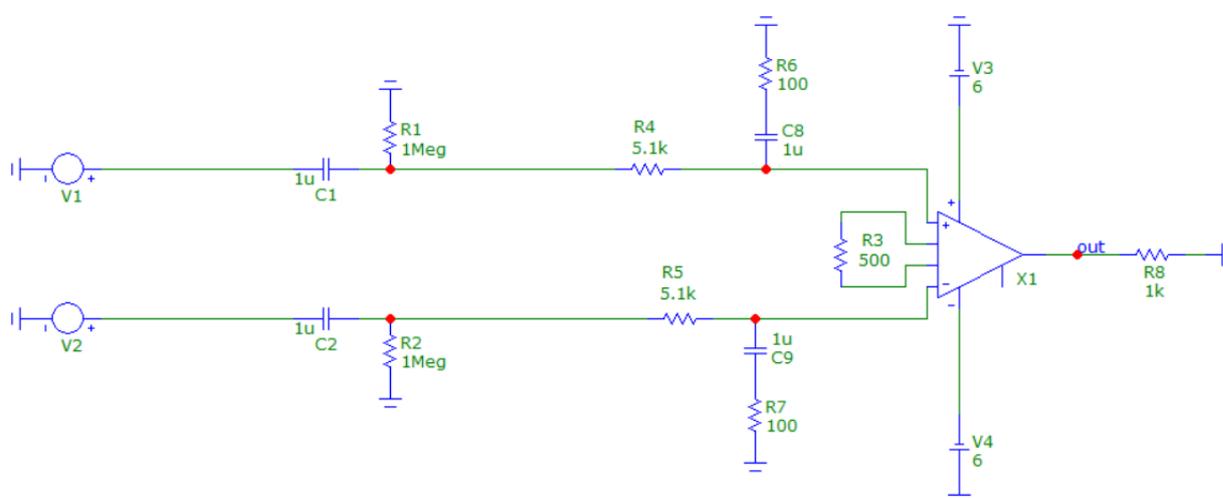


Рис. 2. Схемотехническая модель двухканального инструментального усилителя для регистрации низкочастотного зашумленного сигнала

регистрации низкочастотного зашумленного сигнала.

Рассмотрим работу спроектированного усилителя в пакете схемотехнического моделирования *MicroCap12*. Структурная и принципиальная схемы представлены на рис. 1 и 2.

Сигналы лобной и височной доли проходят через входную фильтрацию, после этого на усилитель, запитанный от источника питания. Усиленный сигнал подвергается полосовой фильтрации для подавления внешних помех и физиологических помех, после чего поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и затем на микроконтроллер (МК).

Приведенная схема (рис. 2) представляет собой двухканальный инструментальный усилитель для регистрации низкочастотного зашумленного сигнала с предварительной обработкой сигналов головного мозга. Система

построена на микросхеме *AD627* и включает цепи фильтрации и усиления.

Два входных сигнала *V1* и *V2* поступают от электродов, размещаемых на голове, между двумя точками: на лобной и височной доле. Также земля подцепленная к мочке уха. Типичный ЭЭГ-сигнал имеет амплитуду 10–100 микровольт при частотном диапазоне 0,5–50 Гц для клинической ЭЭГ. Сигналы содержат полезную информацию о нейрональной активности, но также загрязнены электромагнитными помехами 50 Гц от сетевого питания.

Конденсаторы *C1* и *C2* в сочетании с резисторами *R1* и *R2* формируют высокочастотный фильтр. Этот фильтр отсеивает постоянную составляющую и низкочастотное смещение, оставляя полезный сигнал [6].

Выходной фильтр нижних частот *R4*, *C8* и *R5*, *C9* образует низкочастотный фильтр. Этот

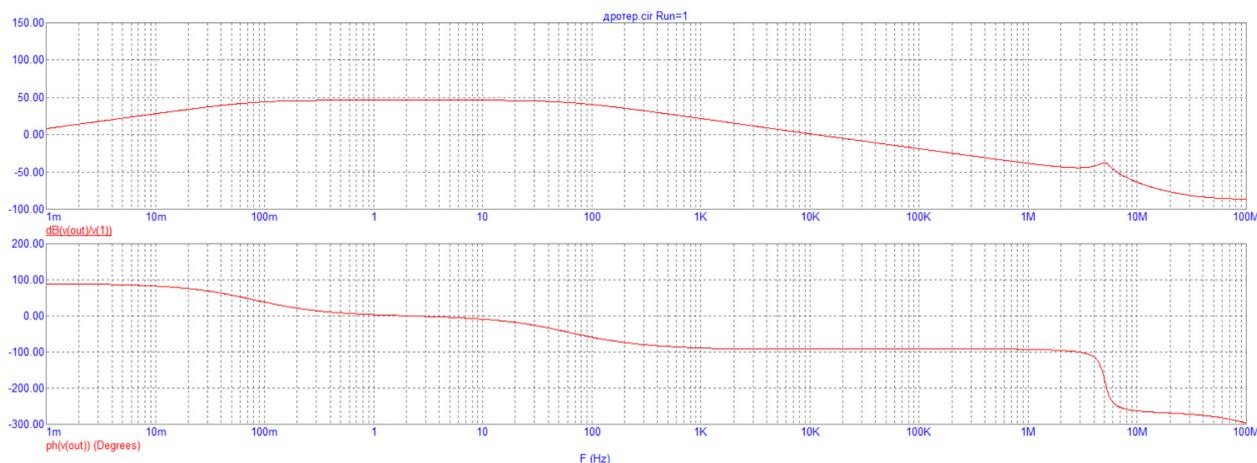


Рис. 3. ЛАХ и ФЧХ разомкнутого контура усилителя

фильтр подавляет высокочастотный шум и помехи от мышечной активности [6].

Питание $V3$, $V4 - \pm 6В$. Двухполярное питание обеспечивает симметричный выходной диапазон вокруг нулевого потенциала, что крайне важно для обработки биполярных ЭЭГ-сигналов [7].

Логарифмическая амплитудная характеристика (ЛАХ) и фазочастотные характеристики (ФЧХ) разомкнутого контура усилителя представлены на рис. 3.

ЛАХ разработанного усилителя демонстрирует типичное поведение полосового фильтра с максимальным коэффициентом передачи порядка 40–45 дБ в рабочей полосе частот. Анализ частотной зависимости показывает, что усилитель имеет рабочую полосу пропускания от десятков миллигерц до единиц килогерц, что соответствует требованиям к приборам для регистрации биоэлектрических сигналов. В области низких частот, начиная от 1 мГц и до приблизительно 0,1 Гц, наблюдается подъем амплитудно-частотной характеристики со скоростью около 20 дБ на декаду, что обусловлено наличием входных разделительных RC -цепей, препятствующих прохождению постоянной составляющей. Полоса пропускания усилителя определяется между нижней граничной частотой около 0,1 Гц и верхней граничной частотой порядка 1 кГц на уровне минус 3 дБ от максимального значения усиления, что обеспечивает качественную передачу всех физиологических компонентов ЭЭГ сигнала.

При увеличении частоты свыше 1 кГц амплитудно-частотная характеристика демон-

стрирует монотонный спад со скоростью 20 дБ на декаду, что обусловлено наличием фильтра низких частот и обеспечивает эффективное подавление высокочастотных помех. На частоте 100 МГц ослабление сигнала достигает значения минус 100 дБ относительно максимума, что гарантирует защиту от радиочастотных наводок и импульсных помех от цифровой аппаратуры.

ФЧХ усилителя отражает фазовые соотношения между входным и выходным сигналами на различных частотах. В области низких частот фазовый сдвиг составляет положительные 50–100 градусов, что связано с влиянием разделительных конденсаторов на входе усилителя, формирующих фильтр верхних частот. По мере роста частоты в пределах рабочей полосы фазовая характеристика демонстрирует относительно линейное поведение с плавным переходом через нулевое значение, что свидетельствует о минимальных фазовых искажениях в диапазоне информативных частот и обеспечивает сохранение формы биоэлектрического сигнала.

Реализованный усилитель для регистрации низкочастотного зашумленного сигнала продемонстрировал довольно качественные функциональные возможности и универсальность при регистрации различных типов сигналов с широким диапазоном амплитуд. Достигнутый коэффициент усиления порядка 40–45 дБ обеспечивает достаточно низкий уровень собственного шума устройства и позволяет регистрировать ЭЭГ сигналы и биоэлектрическую деятельность. Этот комплексный характер регистрации позволяет проводить углубленный

анализ помех и разработать методы их автоматического выявления и исключения из первичных ЭЭГ-записей. Применение адаптивных алгоритмов цифровой фильтрации и методов спектрального анализа позволяет дополнительно улучшить соотношение сигнал-помеха и реализовать адаптивное подавление без потерь полезной информации.

Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности создания компактной и относительно недорогой системы регистрации биоэлектрических сигналов, пригодной как для научных исследований в обла-

сти нейрофизиологии, так и для практического применения в медицинской диагностике.

Разработанный усилитель обладает достаточно низким входным импедансом, обеспечивающим хорошую помехоустойчивость при работе с пассивными электродами. Создание такой системы на основе доступной компонентной базы открывает перспективы ее дальнейшего совершенствования, а также возможность интеграции с современными платформами цифровой обработки сигналов и машинного обучения для автоматической классификации состояний головного мозга.

Список литературы

1. Нейроинтерфейсы: технология преобразования биопотенциалов мозга в команды управления // Центр биоэлектрических интерфейсов.
2. Неробкова, Л.Н. Клиническая электроэнцефалография : учебное пособие / Л.Н. Неробкова, С.Б. Ткаченко. – М. : ГБОУ ДПО РМАПО, 2016. – 213 с.
3. Сушкова, Л.Т. Узлы и элементы медицинской техники: усилительные каскады : учебное пособие / Л.Т. Сушкова. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 110 с.
4. Иванов, А.А. Описание технических характеристик ЭЭГ-оборудования / А.А. Иванов // Эпилепсия. – 2023.
5. Центр медицинской информации. Научная библиотека лаборатории электрофизиологии НЦИЛС.
6. Полякова, В.Б. Атлас электроэнцефалограмм детей с различной патологией головного мозга / В.Б. Полякова. – М. : МЕДпресс-информ, 2015. – 280 с.
7. Анисимов, В.И. Операционные усилители с непосредственной связью каскадов : монография / В.И. Анисимов, М.В. Капитонов, Н.Н. Прокопенко, Ю.М. Соколов. – М. : Книга по радиоэлектронике, 1979. – 234 с.
8. AD627 micropower, single and dual supply rail-to-rail instrumentation amplifier : datasheet / Analog Devices, Inc.
9. Устройство и принцип работы электроэнцефалографа / Фортис Медикал.
10. Терентьев, А.С. Верификация существующих припоев, используемых для пайки микроэлектроники / А.С. Терентьев, Е.Е. Дрокин, Т.Г. Орешенко // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 5(167). – С. 106–110.

References

1. Neyrointerfeysy: tekhnologiya preobrazovaniya biopotentsialov mozga v komandy upravleniya // Tsentr bioelektricheskikh interfeysov.
2. Nerobkova, L.N. Klinicheskaya elektroentsefalografiya : uchebnoye posobiye / L.N. Nerobkova, S.B. Tkachenko. – M. : GBOU DPO RMAPO, 2016. – 213 s.
3. Sushkova, L.T. Uzly i elementy meditsinskoj tekhniki: usilitel'nyye kaskady : uchebnoye posobiye / L.T. Sushkova. – Vladimir : Izd-vo VIGU, 2013. – 110 s.
4. Ivanov, A.A. Opisaniye tekhnicheskikh kharakteristik EEG-oborudovaniya / A.A. Ivanov // Epilepsiya. – 2023.
5. Tsentr meditsinskoj informatsii. Nauchnaya biblioteka laboratorii elektrofiziologii NTSILS.
6. Polyakova, V.B. Atlas elektroentsefalogramm detey s razlichnoy patologiyey golovnogho mozga / V.B. Polyakova. – M. : MEDpress-inform, 2015. – 280 s.
7. Anisimov, V.I. Operatsionnyye usiliteli s neposredstvennoy svyaz'yu kaskadov : monografiya / V.I. Anisimov, M.V. Kapitonov, N.N. Prokopenko, YU.M. Sokolov. – M. : Kniga po radioelektronike,

1979. – 234 с.

9. Ustroystvo i printsip raboty elektroentsefalografa / Fortis Medikal.

10. Terent'yev, A.S. Verifikatsiya sushchestvuyushchikh pripoyev, ispol'zuyemykh dlya payki mikro-elektroniki / A.S. Terent'yev, Ye.Ye. Drokin, T.G. Oreshenko // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2025. – № 5(167). – S. 106–110.

© А.С. Терентьев, Е.Е. Дрокин, Т.Г. Орешенко, 2025

УДК 004.4

Н.А. ЧУРСИН, Д.Ю. ИЛЬИН

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ KUBERNETES-КЛАСТЕРА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ

Ключевые слова: автоматическое масштабирование; кластер; нагрузка; прогнозирование; управление вычислительными ресурсами; *Kubernetes*.

Аннотация. Статья посвящена вопросам управления вычислительными ресурсами *Kubernetes*-кластера в условиях динамически изменяющейся нагрузки. Цель работы – проанализировать актуальные подходы к распределению ресурсов и определить направления повышения эффективности автоматического масштабирования. Рассмотрены механизмы *Horizontal/Vertical Pod Autoscaler*, модели прогнозирования нагрузки и практики адаптивного планирования. Сформированы рекомендации по повышению эффективности использования ресурсов центрального процессора и памяти, снижению провалов производительности во время пиковой нагрузки и повышению устойчивости сервисов. Полученные результаты могут быть применены при проектировании высоконагруженных систем, где требуется баланс между производительностью, экономией ресурсов и стабильностью работы сервисов.

Введение и постановка проблемы

Переход от традиционных подходов к выделению фиксированных объемов вычислительных ресурсов к более гибким альтернативам позволяет лучше соответствовать изменяющимся требованиям рабочих нагрузок, что особенно важно в условиях высокой нагрузки. Использование платформ оркестрации контейнеризованных приложений и средств автоматизации позволяет достичь большей гибкости при меньших дополнительных затратах вычислительных

ресурсов по сравнению с гипервизорами [1], требующими наличия гостевых операционных систем. По мере увеличения числа сервисов в программных системах это преимущество становится более значимым. В связи с этим контейнеры активно применяются на практике, а *Kubernetes* стал одной из наиболее распространенных платформ для развертывания и управления распределенными приложениями.

Увеличение числа сервисов, работающих в микросервисной архитектуре, требования к надежности и потребность в эффективном использовании вычислительных мощностей стимулируют интерес к механизмам интеллектуального управления ресурсами. Ручные или статические стратегии масштабирования перестают быть эффективными, уступая место адаптивным моделям, использующим данные телеметрии методы машинного обучения [2].

Текущая работа посвящена исследованию подходов к управлению вычислительными ресурсами *Kubernetes*-кластера в условиях изменяющейся нагрузки. Рассматриваются базовые механизмы автоматического масштабирования, ограничения классических инструментов и возможности применения интеллектуальных моделей прогнозирования. Результаты работы могут быть применены при проектировании высоконагруженных систем, где важны устойчивость, экономичность и предсказуемое поведение инфраструктуры.

Распределение вычислительных ресурсов *Kubernetes*-кластера

В условиях динамической нагрузки распределение ресурсов в *Kubernetes* перестало быть рутинной процедурой и превратилось в стратегический инструмент обеспечения производительности сервисов. На практике выполняется

Таблица 1. Подходы к распределению ресурсов *Kubernetes*-кластера

Подход	Преимущества	Недостатки	Сценарии применения
Статический гарантированный минимум и предел ресурсов	Простота настройки; предсказуемость	Недостаточная гибкость; риск перерасхода ресурсов	Стабильные сервисы с понятным профилем нагрузки
Использование классов обслуживания	Контроль поведения при перегрузках	Нуждается в тонкой настройке ограничений	Многоуровневые сервисы, разделенные по критичности
Привязка подов к узлам	Возможность распределять нагрузку по классам узлов	Требует продуманной архитектуры	Кластеры со смешанными типами узлов
Квоты ресурсов в пространствах имен	Предотвращение конкуренции за ресурсы	Ограничивает гибкость команд	Многоарендные среды
Динамическое выделение ресурсов	Адаптация под текущие запросы	Высокая сложность	Высоконагруженные и чувствительные к задержкам системы

поиск комбинаций гарантированного минимума ресурсов, ограничений и приоритетов, которые позволяют добиться баланса между экономией ресурсов и возможностью выдерживать пиковую нагрузку. Статическое выделение ресурсов, как правило, не отвечает требованиям: микросервисы имеют различное поведение в зависимости от входящего трафика, состава данных и особенностей бизнес-логики [3]. В связи с этим переход к динамическим моделям распределения ресурсов становится не просто преимуществом, а обязательным условием стабильной работы вычислительного кластера.

Проблема усугубляется тем, что традиционные подходы часто недооценивают взаимное влияние сервисов: один контейнер способен спровоцировать каскад задержек и привести к деградации критически важных компонентов. Чтобы избежать подобных сценариев, организации внедряют адаптивные стратегии масштабирования, при которых расчет мощностей строится на замерах реального потребления ресурсов и поведенческих характеристиках подов (под – минимальная единица развертывания в *Kubernetes*, группа одного или нескольких контейнеров, которые работают вместе и используют общие сеть и хранилище). В табл. 1 представлены ключевые подходы, применяемые сегодня при распределении ресурсов в *Kubernetes*-кластерах.

Исходя из представленных преимуществ и недостатков можно заключить, что наиболее

перспективным направлением является сочетание гибких политик: задание классов обслуживания, гарантированного минимума ресурсов, ограничений и приоритетов, а также механизмов динамической адаптации (корректировки потребления ресурсов и автоматического изменения числа рабочих узлов, что закладывает основу для дальнейшего внедрения интеллектуальных моделей автоматического масштабирования).

Масштабирование *Kubernetes*-сервисов

Horizontal Pod Autoscaler (HPA) – инструмент горизонтального масштабирования подов – давно стал стандартным механизмом управления количеством подов, реагируя на изменение нагрузки по центральному процессору или конфигурируемым метрикам. Его поведение интуитивно понятно: при росте нагрузки пропорционально увеличивается количество реплик, при снижении – масштабирование идет в обратную сторону. Однако в реальных системах метрики бывают зашумлены, задержка между скачком нагрузки и ее стабилизацией значительна, что вызывает проблемы при переходе через порог ресурсов, при котором начинается масштабирование. По результату практики эксплуатации выявляется область применения *HPA*. Он эффективно работает при повторяющихся или плавных профилях нагрузки, однако при резких пиках может не успевать за факти-

Таблица 2. Сравнение возможностей *HPA* и *VPA*

Показатель	<i>HPA</i>	<i>VPA</i>
Принцип работы	Изменение числа подов	Изменение ресурсов пода
Реакция на пики	Быстрая, но не всегда достаточная	Задержанная, требует накопления статистики
Актуальность метрик	Почти мгновенная	Зависит от алгоритма сбора данных
Удобство эксплуатации	Высокое	Сложнее при динамичной нагрузке
Применимость	Микросервисы, которые легко масштабировать	<i>Stateful</i> (сохраняющие состояние) компоненты, сервисы с постоянной нагрузкой
Возможные риски	Избыточное количество подов	Перезапуск подов при изменении конфигурации

Таблица 3. Сравнение моделей прогнозирования нагрузки

Метод	Преимущества	Недостатки	Сценарии применения
<i>ARIMA/ARIMAX</i>	Хорошо предсказывает сезонность; легко обучается	Не справляется с резкими скачками нагрузки	Периодические нагрузки
Случайный лес / Градиентный бустинг	Устойчивость к выбросам; интерпретируемость	Требует больших наборов данных	Нагрузка, связанная со внешними факторами
<i>LSTM/GRU</i>	Высокая точность при сложных паттернах	Долгое обучение	Сервисы с нерегулярной активностью
Гибридные политики автоматического масштабирования	Возможность встроить бизнес-метрики	Сложность настройки	Платежные, рекомендательные, логистические системы
Прогнозирование по бизнес-метрикам	Предвосхищает нагрузку заранее	Требует интеграции с продуктовой аналитикой	Электронная коммерция, банковские системы

ческим состоянием.

Vertical Pod Autoscaler (VPA) – инструмент вертикального масштабирования подов, в свою очередь, оценивает реальные паттерны потребления ресурсов центрального процессора и памяти, предлагая или автоматически применяя корректировку ограничений. *VPA* особенно полезен для сервисов, где горизонтальное масштабирование невозможно или малоэффективно, например, для монолитных компонентов или приложений, подразумевающих хранение состояния. *VPA* лучше подходит для долгоживущих подов с предсказуемой логикой работы, где стабильное использование ресурсов позволяет алгоритму построить корректную статистику.

Одновременное использование *HPA* и *VPA* требует осторожности: изменения, которые вносит *VPA*, могут создать ложный сигнал для *HPA* и привести к нестабильному поведению систе-

мы. Часто этот вопрос решается путем разделения зон ответственности или через гибридные схемы, где вертикальное масштабирование запускается периодически, а горизонтальное отвечает за реакцию на пиковые значения [4]. В табл. 2 приведено сравнение *HPA* и *VPA* как инструментов автоматического масштабирования.

Рассмотренные инструменты решают разные задачи и могут взаимодополнять друг друга при правильно выстроенной политике управления. Однако по мере роста сложности сервисов реактивные механизмы автоматического масштабирования не всегда успевают подстраиваться под быстро меняющиеся паттерны нагрузки [5]. В связи с этим начинают использоваться модели прогнозирования, которые анализируют временные ряды, оценивают закономерности и позволяют заранее подготовить

Таблица 4. Рекомендации по повышению эффективности использования вычислительных ресурсов и повышению устойчивости *Kubernetes*-сервисов

Направление	Рекомендации	Ожидаемый эффект	Особенности применения
Эффективное использование ресурсов центрального процессорного устройства (ЦПУ)	Настройка оптимального минимума ресурсов и ограничений ресурсов; использование <i>HPA</i> с настраиваемыми метриками; прогнозирование нагрузки с помощью моделей машинного обучения	Снижение скачков загрузки центрального продюсера (ЦП), более стабильное поведение сервисов	Подходит для сервисов с динамичной нагрузкой и выраженными паттернами
Управление памятью	Анализ реального потребления через <i>VP</i> ; контроль останки процессов из-за нехватки оперативной памяти и перерасчет ограничений; ограничение конкуренции с помощью квот на ресурсы	Уменьшение аварийных перезапусков, стабилизация подов	Актуально для сервисов с большими объемами данных или высокими требованиями к кешированию
Повышение устойчивости	Классификация сервисов по классам обслуживания; принадлежность подов к рабочим узлам для распределения нагрузки; гибридные политики масштабирования с прогнозами на основе моделей машинного обучения	Увеличение отказоустойчивости, снижение вероятности каскадных отказов	Полезно в микросервисной архитектуре с большим числом взаимосвязанных компонентов
Работа с пиковыми нагрузками	Предварительное масштабирование перед ожидаемыми скачками нагрузки; использование буферных рабочих узлов; переход на профили с переменной нагрузкой	Удержание экстремальных пиков нагрузки без деградации производительности	Важно для систем с соглашениями об уровне обслуживания
Повышение эффективности архитектуры кластера	Перенос тяжелых задач на высокопроизводительные рабочие узлы; выделение служебных подов на отдельные рабочие узлы; предотвращение конкуренции за ресурсы	Повышение общей стабильности архитектуры кластера	Эффективно в кластерах со множеством зависимых сервисов

вычислительную инфраструктуру.

Можно выделить несколько перспективных подходов:

- применение *ARIMA*-моделей для выявления трендов и сезонности [6];
- использование градиентных бустингов или случайного леса для предсказания скачков нагрузки на основе событийных данных [7];
- внедрение рекуррентных нейросетей (*LSTM/GRU*) при работе с комплексными или нелинейными зависимостями [8];
- комбинирование правил автоматического масштабирования с моделями машинного обучения для получения гибридного поведения [9].

Для повышения точности моделирования нагрузки целесообразно опираться не только на показатели использования ресурсов центрального процессора и оперативной памяти,

но и на бизнес-метрики – количество заказов, активность пользователей, количество транзакций. Такой подход дает возможность масштабироваться впрок, до наступления пика, что особенно важно для высоконагруженных сервисов, работающих по соглашениям об уровне обслуживания. Методы адаптивного масштабирования также развиваются в сторону мультифакторных моделей, где учитываются задержки сети, нагруженность узлов, время отклика систем управления базами данных и поведение смежных микросервисов. В табл. 3 представлен перечень методов прогнозирования, применяемых в *Kubernetes*-инфраструктурах.

Адаптивные модели автоматического масштабирования – ожидаемый путь развития *Kubernetes*-инфраструктур ввиду потребности в стабильном функционировании и эффективном использовании ресурсов в условиях сложных

паттернов нагрузки. Анализ подходов к распределению ресурсов, практик эксплуатации инструментов автоматического масштабирования и методов прогнозирования нагрузки показывает, что эффективность *Kubernetes*-кластера во многом определяется качеством предварительной настройки и способностью системы адаптироваться к динамике трафика. На основе вышеизложенного следует полагать, что эффективность работы кластера достигается в тех случаях, когда механизмы автоматического масштабирования работают не только в реактивном, но и в проактивном режиме, опираясь на реальные метрики потребления ресурсов центрального процессора, памяти и на поведенческие характеристики сервисов.

Обеспечение эффективного использования вычислительных ресурсов в *Kubernetes*

Для снижения провалов производительности во время пиковой нагрузки следует уделять внимание настройке гарантированного минимума ресурсов, ограничений и приоритетов, подключению политик горизонтального и вертикального масштабирования и использованию гибридных моделей, где машинное обучение помогает прогнозировать предстоящие изменения нагрузки. Существенную роль играет и изоляция сервисов по классам обслуживания. Такая схема позволяет предотвратить конкуренцию за ресурсы и снижает риск деградации критически важных сервисов. В табл. 4 представлены рекомендации по конфигурированию автоматического масштабирования в *Kubernetes*.

Переход к адаптивным стратегиям управления ресурсами становится значимым этапом развития современных *Kubernetes*-инфраструктур ввиду того, что наиболее устойчивые конфигурации формируются при сочетании инженерных решений с прогнозными моделями, обновляемыми по мере изменения паттерна нагрузки.

Сочетание грамотной настройки ресурсов, адаптивного автоматического масштабирования и прогнозирования нагрузки может дать большую устойчивость сервисов и может позволить сократить эксплуатационные издержки за счет более точного распределения вычислительных мощностей. В свете этого целесообразно выстраивать процессы управления ресурсами как непрерывный цикл, включающий периодическую ревизию метрик, актуализацию

стратегий масштабирования и регулярную оценку поведения сервисов под реальной нагрузкой.

Заключение

В ходе выполненного исследования был проведен анализ подходов к управлению вычислительными ресурсами *Kubernetes*-кластера в условиях изменяющейся нагрузки. Рассмотрены основные механизмы автоматического масштабирования – *Horizontal Pod Autoscaler* и *Vertical Pod Autoscaler*, их возможности, ограничения и области применения. Проанализированы методы прогнозирования нагрузки, включая статистические модели, алгоритмы машинного обучения и гибридные схемы, сочетающие реактивные и проактивные стратегии масштабирования.

На основе сопоставления представленных подходов сформулированы практические рекомендации по повышению эффективности использования ресурсов центрального процессора и оперативной памяти, оптимизации реакций на пиковые нагрузки и снижению риска деградации сервисов. В частности, отмечено, что наиболее устойчивых результатов удастся добиться при сочетании корректно настроенных ограничений и запросов ресурсов, применения классов обслуживания, а также комбинированного использования *HPA*, *VPA* и предиктивных моделей, позволяющих выполнять предварительное масштабирование.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации высоконагруженных микросервисных систем, облачных платформ и корпоративных *Kubernetes*-кластеров, в которых требуется обеспечить баланс между производительностью, устойчивостью и экономичностью. Представленные рекомендации могут служить базой для разработки стратегий масштабирования в организациях, стремящихся к снижению эксплуатационных издержек и повышению стабильности инфраструктуры.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка и экспериментальная оценка прототипов систем интеллектуального масштабирования; интеграция моделей прогнозирования нагрузки с бизнес-метриками; изучение влияния архитектурных решений (мультикластерность, распределенные вычисления, гетерогенные узлы) на

эффективность планирования ресурсов; анализ те в условиях неопределенности и всплесков устойчивости адаптивных стратегий при работе на грузки.

Список литературы/References

1. Dakić, V. Evolving high-performance computing data centers with Kubernetes, performance analysis, and dynamic workload placement based on machine learning scheduling / V. Dakić, M. Kovač, J. Slovinac // *Electronics*. – 2024. – Vol. 13. – No. 13. – P. 2651.
2. Toka, L. Machine learning-based scaling management for Kubernetes edge clusters / L. Toka, [et al.] // *IEEE Transactions on Network and Service Management*. – 2021. – Vol. 18. – No. 1. – P. 958–972.
3. Sun, Y. A review of Kubernetes scheduling and load balancing methods / Y. Sun, et al. // *2023 4th International Conference on Information Science, Parallel and Distributed Systems (ISPDS)*. – IEEE, 2023. – P. 284–290.
4. Wijesekera, T.S. Kubernetes scaling: a comprehensive review of scalability in Kubernetes / T.S. Wijesekera, D.R. Wijendra // *International Conference on ICT for Sustainable Development*. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2025. – P. 187–201.
5. Ju, L. Proactive autoscaling for edge computing systems with Kubernetes / L. Ju, P. Singh, S. Toor // *Proceedings of the 14th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion*. – 2021. – P. 1–8.
6. Chia, Y.X. Exploring resource prediction models based on custom Kubernetes auto-scaling metrics / Y.X. Chia, [et al.] – 2024.
7. Carlstedt, W. AI-driven Kubernetes optimization: using supervised learning to forecast Kubernetes metrics / W. Carlstedt, A. Gupta. – 2024.
8. Dang-Quang, N.M. Deep learning-based autoscaling using bidirectional long short-term memory for Kubernetes / N.M. Dang-Quang, M. Yoo // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11. – No. 9. – P. 3835.
9. Toka, L. Adaptive AI-based auto-scaling for Kubernetes / L. Toka, et al. // *2020 20th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGRID)*. – IEEE, 2020. – P. 599–608.

© Н.А. Чурсин, Д.Ю. Ильин, 2025

УДК 514.182.2

Е.В. ИГНАТОВА, И.С. ФРОЛОВ, Ф.В. СВОЙКИН
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет», г. Санкт-Петербург

ПОСТРОЕНИЕ ШЕСТИУГОЛЬНОЙ УСЕЧЕННОЙ ПИРАМИДЫ В КОМПАС-3D V23

Ключевые слова: ГОСТ; Единая система конструкторской документации (ЕСКД); инженерная графика; КОМПАС-3D; методика преподавания; начертательная геометрия; ортогональные проекции; развертка поверхности; усеченная пирамида.

Аннотация. Целью данной статьи являются построение шестиугольной усеченной пирамиды в среде КОМПАС-3D V23, а также развитие пространственного мышления у студентов технических специальностей.

Задача данной работы направлена на поэтапное построение шестиугольной усеченной пирамиды в КОМПАС-3D V23, которая системно развивает у студентов ключевые компетенции. Среди них – владение сложными графическими операциями, умение создавать аксонометрические проекции и развертки. Интегрированная работа в КОМПАС-3D способствует не только освоению функционала системы, но и формированию глубокого понимания принципов проекционной связи и метрических взаимосвязей элементов чертежа.

В статье представлена детальная методика выполнения графической работы по построению шестиугольной усеченной пирамиды в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D V23. Методика ориентирована на студентов технических специальностей и направлена на формирование практических навыков работы в системе автоматизированного проектирования (САПР), углубление знаний в области начертательной геометрии и развитие пространственного мышления в рамках учебного курса инженерной графики.

В заключение предлагается разработанное руководство, которое выступает в роли действенного учебно-методического ресурса. Оно предназначено для студентов технических на-

правлений и призвано облегчить им освоение методики построения комплексных чертежей в современных системах автоматизированного проектирования.

Введение

Методике построения в системе «КОМПАС-3D» при подготовке специалистов для технических специальностей по начертательной геометрии и инженерной графике посвящен ряд работ [1–5]. Однако наблюдается дефицит работ, связанных с построением различных геометрических фигур для технических высших учебных заведений. В учебном процессе технических вузов формирование навыков пространственного мышления и владения современными системами автоматизированного проектирования является важной составляющей подготовки инженеров. Особое значение имеет умение грамотно выполнять и оформлять комплексные чертежи, включая построение ортогональных проекций, аксонометрических изображений и разверток геометрических тел, в строгом соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) [6]. Данная статья представляет собой руководство по построению шестиугольной усеченной пирамиды в среде КОМПАС-3D V23, которое нацелено на закрепление у студентов технических специальностей компетенций в области инженерной графики.

Цель работы

Целью данной статьи являются построение шестиугольной усеченной пирамиды в среде КОМПАС-3D V23, а также развитие простран-

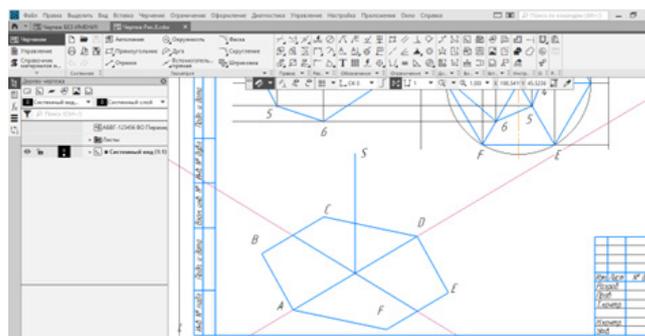


Рис. 1. Аксонометрия – основание шестиугольной пирамиды

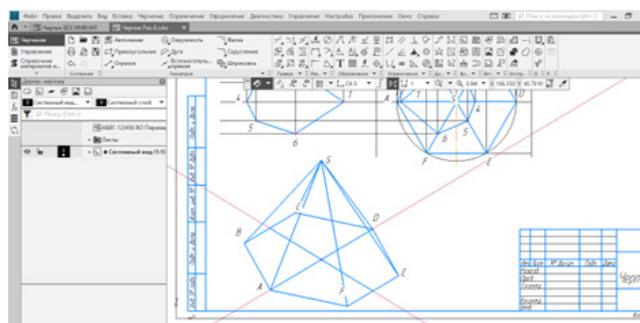


Рис. 2. Аксонометрия шестиугольной пирамиды

ственного мышления у студентов технических специальностей.

Материалы и методы

Ниже приводится последовательность выполнения задания.

Построим аксонометрию шестиугольной пирамиды $ABCDEF S$. Для этого нужно определиться, что аксонометрия должна строиться по осевым линиям, которые располагаются под 30° или через соотношение 5 к 3, что легче запомнить. Отступим 35 мм снизу и 80 мм слева, поставим точку, через которую будет проходить центр осевых линий рисунка. Осевые линии также строим тонкими, чтобы впоследствии можно было их не стирать, но при этом они не мешали компоновке чертежа и не выделялись на фоне детали.

Представим, что наши осевые линии накладываются на горизонтальную проекцию таким образом, что пересечение осевых линий – это вершина S , а осевая X совпадает с ребрами AS и SD . Отмерим отрезки AS и SD и отложим их от центра осевых линий вдоль оси абсцисс (X).

Запомним главное правило построения аксонометрии: можно переносить либо те линии, которые накладываются на оси, либо те, которые параллельны осям, линии, которые проходят под углом, переносить нельзя. Для того чтобы перенести отрезки AB , CD , DE и FA , нужно найти точки начала и точки окончания наших отрезков. Разделим BC и FE пополам, проведем посередине вертикальную линию, вертикальная линия совпадает с осью ординат (Y) и проходит через начало координат, перенесем ее. А получившиеся точки уже соединим, получим основание шестиугольной пирамиды. Из центра S проведем параллельно оси ординат (Y) линию от центра O до вершины S и обозначим буквами получившиеся ребра (рис. 1).

Получив вершину и ребра, можно соединить все линии к вершине, получаем аксонометрию шестиугольной пирамиды (рис. 2).

Аксонометрическая проекция может быть представлена как с сечением, так и без сечения. Дополним аксонометрическую проекцию сечением, для этого перенесем горизонтальную проекцию среза по правилам переноса на аксонометрическую плоскость. Аналогично тому,

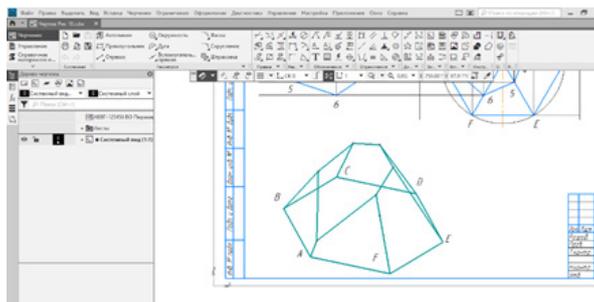


Рис. 3. Усеченная шестиугольная пирамида без дополнительных линий

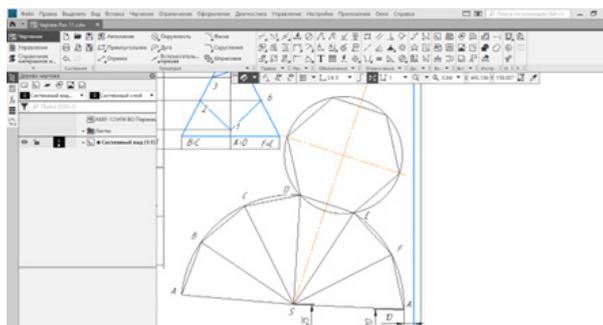


Рис. 4. Основание развертки шестигранной пирамиды

как переносили параллельные осям линии, а линии, которые идут под углом, соединяли по двум точкам. Проекция сечения имеет отрезок, который совпадает с осевой X – это отрезок 1–4. Отталкиваясь от центра S , переносим его, измеряя циркулем расстояние от центра до точки 1 и от центра до точки 4. Линии связи на сечении располагаются параллельно осям, по ним перенесем расстояния от отрезка 1–4 до точек 2, 3, 5, 6 и перенесем их поэтапно, отмеряя каждый циркулем, соединим получившиеся точки и получим основание сечения.

Соединим последовательно точки со своими ребрами, точку 1 с ребром AS , точку 2 с ребром BS и так далее, получим аксонометрию усеченной пирамиды.

Удалим все дополнительные линии и увидим, как будет выглядеть усеченная аксонометрия (рис. 3).

Развертка шестигранной пирамиды будет выполняться сразу в двух вариантах – усеченной и неусеченной. В правом нижнем углу отступим от рамки влево 10 мм и от основной надписи вверх 25 мм, далее отмеряем на фронтальном виде от точки A до точки S расстояние по ребру и нанесем их на чертеж циркулем,

этим радиусом проведем дугу.

Отмерим расстояние, равное ребру, отрезок AB , отложим его на дуге. Из центра S проведем по получившимся вершинам ребра и отметим буквами.

Проведем биссектрису отрезков SD и SE штрихпунктирной линией, линия должна выходить за поле дуги на расстояние диаметра окружности основания пирамиды. От ребра ED по биссектрисе отложим расстояние, равное расстоянию от ребра до центра горизонтальной проекции основания окружности, ребро DE является отправной точкой, проведем две параллельные вспомогательные линии, они параллельны биссектрисе. После соединения заданных точек мы получим основание пирамиды (рис. 4).

Выводы и рекомендации

Представленная в статье методическая последовательность построения шестиугольной усеченной пирамиды в КОМПАС-3D V23 позволяет системно сформировать у студентов ключевые умения: выполнение сложных графических операций, создание аксонометрической

проекции и развертки поверхности. Реализация всех этапов работы в единой цифровой среде КОМПАС-3D способствует не только освоению инструментов системы, но и глубокому пониманию логики проекционной связи и метрических зависимостей между элементами чертежа.

Заключение

Таким образом, разработанное руководство служит эффективным учебно-методическим

инструментом для освоения студентами технических специальностей принципов выполнения комплексных чертежей в современной САПР. Последовательное выполнение всех пунктов задания закрепляет знания ГОСТов, навыки работы в КОМПАС-3D и фундаментальные понятия начертательной геометрии, формируя комплексную графическую культуру, необходимую инженеру и специалисту в других высокотехнологичных отраслях.

Список литературы

1. Белим, С.С. О построении фазовых диаграмм двухкомпонентных систем в САПР «КОМПАС-3D» геометрическим способом / С.С. Белим, А.А. Бойков, А.В. Коровина // Журнал технических исследований. – 2020. – Т. 6. – № 2. – С. 9–14.
2. Козлов, В.А. Построение эвольвентного профиля зубчатого колеса в КОМПАС-3D V20 / В.А. Козлов, А.В. Варламова // Вестник Димитровградского инженерно-технологического института. – 2023. – № 1(29). – С. 43–51.
3. Тишина, А.О. Построение элементарных фигур вращения с использованием программы КОМПАС 3D / А.О. Тишина, Т.Л. Гольцева // Технологии аддитивного производства. – 2025. – Т. 3. – № 2. – С. 34–39.
4. Дербенева, О.Л. Пересечение поверхностей – методика построений в КОМПАС-3D / О.Л. Дербенева // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. – 2019. – Т. 1. – С. 233–235.
5. Мишина, Д.Г. Построение геометрических фигур в компьютерной среде «КОМПАС 3D» / Д.Г. Мишина, В.В. Шарейко // Актуальные исследования. – 2022. – № 33. – С. 17–19.
6. ГОСТ 2.103–2013. Единая система конструкторской документации. – М. : Стандартинформ, 2013. – 16 с.

References

1. Belim, S.S. O postroyenii fazovykh diagramm dvukhkomponentnykh sistem v SAPR «KOMPAS-3D» geometricheskim sposobom / S.S. Belim, A.A. Boykov, A.V. Korovina // Zhurnal tekhnicheskikh issledovaniy. – 2020. – T. 6. – № 2. – S. 9–14.
2. Kozlov, V.A. Postroyeniye evol'ventnogo profilya zubchatogo koleasa v KOMPAS-3D V20 / V.A. Kozlov, A.V. Varlamova // Vestnik Dimitrovgradskogo inzhenerno-tekhnologicheskogo instituta. – 2023. – № 1(29). – S. 43–51.
3. Tishina, A.O. Postroyeniye elementarnykh figur vrashcheniya s ispol'zovaniyem programmy KOMPAS 3D / A.O. Tishina, T.L. Gol'tseva // Tekhnologii additivnogo proizvodstva. – 2025. – T. 3. – № 2. – S. 34–39.
4. Derbeneva, O.L. Peresecheniye poverkhnostey – metodika postroyeniy v KOMPAS-3D / O.L. Derbeneva // Problemy kachestva graficheskoy podgotovki studentov v tekhnicheskom vuze: traditsii i innovatsii. – 2019. – T. 1. – S. 233–235.
5. Mishina, D.G. Postroyeniye geometricheskikh figur v komp'yuternoy srede «KOMPAS 3D» / D.G. Mishina, V.V. Shareyko // Aktual'nyye issledovaniya. – 2022. – № 33. – S. 17–19.
6. GOST 2.103–2013. Yedinaya sistema konstruktorskoy dokumentatsii. – M. : Standartinform, 2013. – 16 s.

УДК 620.193

И.А. ПОГРЕБНАЯ, С.В. МИХАЙЛОВА

Филиал ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Нижневартовск

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ ПРОМЫСЛОВЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Ключевые слова: аварийность; антикоррозионная защита; Западная Сибирь; ингибиторы коррозии; модифицированная сталь; нефтяные месторождения; стеклопластиковые трубы; трубопроводы; эпоксидное покрытие.

Аннотация. В статье представлен анализ опыта эксплуатации и эффективности различных средств антикоррозионной защиты трубопроводов нефтяных месторождений Западной Сибири.

Актуальность обусловлена высокой долей коррозионных повреждений, составляющих до 70 % всех аварий на нефтепромышленных трубопроводах региона. Цель работы – сравнительная оценка способов повышения надежности трубопроводных систем: стальных труб с внутренним эпоксидным покрытием, труб из модифицированных и легированных сталей, стеклопластиковых труб и применения ингибиторов коррозии.

Методы исследования включают ретроспективный анализ статистических данных аварийности, мониторинг состояния промышленных трубопроводов и сопоставление характеристик различных конструктивных решений.

Результаты показывают, что наибольшую эффективность для снижения аварийности до 0,005–0,01 отказов/км в год обеспечивают трубы с внутренним эпоксидным покрытием и трубы из модифицированных сталей. Стеклопластиковые трубы показали ограниченную применимость из-за скрытых дефектов. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода, сочетающего модернизацию трубопроводов с повышением доли коррозионностойких материалов для достижения надежной и безопасной эксплуатации.

Введение

Проблема коррозионной деградации магистральных и промышленных нефтегазовых трубопроводов остается одной из ключевых угроз для обеспечения надежной и экологически безопасной эксплуатации нефтегазового комплекса России. Это подтверждается постоянно высокой долей аварий, вызванных коррозионными процессами: до 70 % случаев разрушения трубопроводов в Западной Сибири приходится на внутреннюю или внешнюю коррозию металла [1]. Такие разрушения приводят к многомиллионным экономическим потерям, рискам загрязнения окружающей среды и прерыванию технологических процессов. Несмотря на наличие обширной мировой и российской литературы, посвященной контролю и предотвращению коррозии, вопросы комплексного выбора и внедрения наиболее эффективных технологий защиты в реальных промышленных условиях остаются нерешенными [2]. Это связано с ограниченностью доступных статистических данных, недостаточной апробацией ряда современных материалов (например, композитные и модифицированные конструкции, инновационные ингибиторы), а также неоднозначностью результатов при масштабировании технологий защиты на объекты с разными климатическими, химическими и технологическими параметрами. Анализ накопленного в российских нефтегазодобывающих регионах, прежде всего в Западной Сибири, практического опыта показывает существенные различия в эффективности применяемых решений [3]. Стальные трубы с внутренними эпоксидными покрытиями и использование ингибиторных композиций лидируют по снижению аварийности на маги-

стралях, обеспечивая долгосрочную защиту при оптимальном сочетании расходов и надежности. Однако их целесообразность для каждого объекта требует оценки с учетом положения в трубопроводной сети, интенсивности прокачки и затрат на эксплуатацию и ремонт. Проведенный в работе сравнительный анализ современных материалов и антикоррозионных технологий репрезентативен для условий Западной Сибири, обобщает статистические показатели надежности трубопроводных систем различных поколений и позволяет выявить малоисследованные аспекты. К ним относятся проблемы скрытой коррозии, трудности длительного мониторинга и логистические задачи при эксплуатации альтернативных материалов [4]. Научная новизна исследования заключается в междисциплинарном сопоставлении практических результатов и теоретических предпосылок, что позволяет разработать комплексные рекомендации по модернизации систем защиты магистральных трубопроводов. Основной целью настоящей работы выступает определение путей повышения надежности инженерной инфраструктуры добывающего комплекса посредством внедрения современных антикоррозионных решений и совершенствования мониторинга технического состояния трубопроводов.

Методы

В исследовании применялись комплексные методы, охватывающие статистический анализ эксплуатационных данных, лабораторные испытания материалов и мониторинг состояния трубопроводных систем на промыслах Западной Сибири. Для ретроспективного анализа аварийности использованы архивные данные о повреждениях трубопроводов за последние 10–15 лет, включая распределение отказов по причинам, характеристикам транспортируемых сред и технологиям защиты. Статистическая обработка включала расчет доли коррозионных аварий, динамики внедрения различных защитных решений и оценку коэффициента надежности по формуле:

$$K = \frac{N_{av}}{L \cdot T},$$

где N_{av} – число аварий; L – длина активной трубопроводной сети; T – период наблюдения (лет).

Для экспериментальной части использовались образцы труб с различными типами покрытия: эпоксидные, модифицированные и легированные стали, стеклопластиковые секции, а также стальные трубы с дозированным добавлением ингибиторов коррозии. Скорость коррозии и потери металла оценивались гравиметрическим методом и ультразвуковыми толщиномерами, позволяющими фиксировать начальные стадии разрушения без прерывания эксплуатации. Дополнительно проводился анализ химического состава транспортируемых сред с целью выявления факторов, ускоряющих коррозию: концентраций ионов железа, хлоридов, сульфидов, присутствия растворенного кислорода; при наличии признаков локальной или точечной коррозии применялись электрические сопротивления зондов и поляризационные датчики, а также купоны-свидетели для определения годовой потери массы металла. Эффективность методов защиты оценивалась сравнением показателей аварийности и скорости коррозии труб в группах по видам материалов, технике монтажа и используемым ингибиторам, с обязательной верификацией результатов с использованием профильных стандартов и методических рекомендаций Минэнерго РФ.

Результаты

В ходе сравнительного анализа эксплуатационных параметров и результатов промышленного мониторинга были выявлены основные тенденции и особенности коррозионных процессов внутри промысловых нефтегазовых трубопроводов Западной Сибири за промежуток более 10 лет наблюдений. По сводным данным ежегодно на сетях происходит до 70 тыс. аварий, из которых коррозионные разрушения составляют до 90 % случаев, а непосредственная замена участков труб ежегодно затрагивает до 8 тыс. км сетей, что эквивалентно 400–500 тыс. тонн стали. Анализ факторов аварийности показал, что наиболее подвержены коррозии трубопроводы участков с высокой обводненностью рабочей среды (свыше 80 %), низким pH и наличием растворенного CO_2 , характерного для углекислотного механизма разрушения металла. Внедрение эпоксидных покрытий позволило сократить расходы на аварийный ремонт, снизить среднюю скорость коррозии с 0,05–0,09 мм/год до

Таблица 1. Эффективность антикоррозионных технологий для промышленных трубопроводов Западной Сибири (10-летний производственный мониторинг)

Тип труб/технологии	Средняя скорость коррозии, мм/год	Аварийность, отказ/км · год	Доля аварий от коррозии, %	Средний срок службы, лет	Связанные факторы
Эпоксидное покрытие	0,006	0,005–0,01	до 70	18–22	Высокая обводненность снижает эффективность, требуется качественный монтаж
Модифицированные/легированные стали	0,01–0,04	0,01–0,02	60–70	15–18	Зависят от типа среды и состава добываемой продукции
Трубы стеклопластиковые	0,002–0,008	0,02	менее 50	12–14	Температурные ограничения, скрытые дефекты
Стальные трубы с ингибиторами	0,05–0,07	0,03–0,08	70–90	10–13	Требуется постоянный контроль дозировки, возможно превышение на отдельных участках

0,006 мм/год, а аварийность по данным предприятий Западной Сибири сократилась до диапазона 0,005–0,010, 005–0,01 отказа/км · год, что подтверждено полевыми испытаниями и архивными отчетами.

Для труб из модифицированных и легированных сталей средние темпы коррозии варьируются от 0,01 до 0,04 мм/год, что обеспечило срок службы до 15–18 лет без критических разрушений при корректном подборе марки стали по химическим параметрам среды и погодным условиям [5]. Однако при длительной эксплуатации в агрессивной среде на отдельных участках наблюдалась локальная язвенная коррозия, что требует комплексного контроля и регулярных инспекций. Стеклопластиковые трубы показали очень низкую среднюю скорость коррозии (0,002–0,008 мм/год), однако их реальная аварийность достигала 0,02 отказов/км · год за счет скрытых дефектов и температурных ограничений, выявленных при опрессовке и сезонных нагрузках. Для стальных труб с дозированным добавлением современных ингибиторов коррозии средняя скорость потери металла по гравиметрическим купонам не превышала 0,05–0,07 мм/год, с аварийностью от 0,03 до 0,08 отказа/км · год при условии стабильного

дозирования реагентов на протяжении всего срока эксплуатации. Проведенные испытания показали, что эффективность ингибиторов может достигать 90 % в лабораторных условиях, однако при переходе к промышленным масштабам на отдельных участках скорость коррозии может превышать 1 мм/год, если нарушается схема подкормки [6].

Выводы

В ходе сравнительного анализа установлено, что комбинированный подход – использование ингибиторов на участках с высокой коррозионной активностью и установка стальных труб с эпоксидным покрытием или модифицированной сталью на основных участках технологических линий – позволяет максимально снизить риск аварийности и обеспечить долгосрочную безопасность эксплуатации трубопроводной инфраструктуры. Выводы подтверждены современными исследованиями и отраслевой практикой, что указывает на необходимость дальнейшего внедрения и оптимизации выбранных методов для повышения надежности и безопасности нефтепромысловых систем в Западной Сибири.

Список литературы

1. Галимов, Р.М. Комплексный подход к защите оборудования от внутренней коррозии / Р.М. Галимов, Ф.И. Даутов, С.А. Долгих // Вестник Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина. – 2007. – № 5.
2. Гареев, Р.М. Комплекс технологий по защите нефтепромыслового оборудования от коррозии / Р.М. Гареев, А.Р. Рахманов, Р.М. Галимов, Р.Ш. Закиров // Геология, разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 11. – С. 54–58.
3. Ермаков, А.В. Актуальные задачи противокоррозионной защиты в промышленности / А.В. Ермаков // Антиккоррозионная защита-2015 : материалы шестой Межотраслевой конференции. – М., 2015. – С. 15–22.
4. Есентаева, А.А. Антиккоррозионные покрытия для трубопроводов системы сбора нефти / А.А. Есентаева, Ю.А. Нифонтов, К.С. Надиров // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2021. – № S1. – С. 78–85.
5. Погребная, И.А. О применении альтернативных материалов для трубопроводов на месторождениях Крайнего Севера / И.А. Погребная, С.В. Михайлова, С.Т. Полищук, Г.Ф. Бабюк // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации) : материалы X Междунар. науч.-техн. конф., Тюмень, 24 ноября 2016 г. В 3 т. Т. 3. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2016. – С. 73–75.
6. Поварова, Л.В. Анализ современных методов защиты нефтепромыслового оборудования от коррозии / Л.В. Поварова, В.С. Мунтян, А.С. Скиба // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 125–129.

References

1. Galimov, R.M. Kompleksnyy podkhod k zashchite oborudovaniya ot vnutrenney korrozii / R.M. Galimov, F.I. Dautov, S.A. Dolgikh // Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefi i gaza (natsional'nyy issledovatel'skiy universitet) im. I.M. Gubkina. – 2007. – № 5.
2. Gareyev, R.M. Kompleks tekhnologiy po zashchite neftepromysloвого oborudovaniya ot korrozii / R.M. Gareyev, A.R. Rakhmanov, R.M. Galimov, R.SH. Zakirov // Geologiya, razrabotka i ekspluatatsiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. – 2011. – № 11. – S. 54–58.
3. Yermakov, A.V. Aktual'nyye zadachi protivokorroziionnoy zashchity v promyshlennosti / A.V. Yermakov // Antikorroziionnaya zashchita-2015 : materialy shestoy Mezhotraslevoy konferentsii. – M., 2015. – S. 15–22.
4. Yesentayeva, A.A. Antikorroziionnyye pokrytiya dlya truboprovodov sistemy sbora nefi / A.A. Yesentayeva, YU.A. Nifontov, K.S. Nadirov // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra. – 2021. – № S1. – S. 78–85.
5. Pogrebnaya, I.A. O primeneni al'ternativnykh materialov dlya truboprovodov na mestorozhdeniyakh Kraynego Severa / I.A. Pogrebnaya, S.V. Mikhaylova, S.T. Polishchuk, G.F. Babyuk // Geologiya i neftegazonosnost' Zapadno-Sibirskogo megabasseyna (opyt, innovatsii) : materialy X Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., Tyumen', 24 noyabrya 2016 g. V 3 t. T. 3. – Tyumen' : Tyumenskiy industrial'nyy universitet, 2016. – S. 73–75.
6. Povarova, L.V. Analiz sovremennykh metodov zashchity neftepromysloвого oborudovaniya ot korrozii / L.V. Povarova, V.S. Muntyan, A.S. Skiba // Bulatovskiye chteniya. – 2020. – T. 4. – S. 125–129.

© И.А. Погребная, С.В. Михайлова, 2025

УДК 62-529.2:531.4

Н.О. ТАПЕХА¹, А.С. ЧУРСИН², О.А. ШИМАНОВ¹¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;²ООО «РПМ», г. Санкт-Петербург

КИНЕТОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕОДОЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРЕПЯТСТВИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ С УЧЕТОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯГИ

Ключевые слова: адаптивное управление; вертикальное препятствие; кинетостатический анализ; коэффициент сцепления; мобильная робототехника; проходимость; распределение тяги.

Аннотация. Целью исследования являются разработка математической модели и проведение кинетостатического анализа влияния дифференциального распределения тяговых усилий между осями на возможность квазистатического преодоления вертикального препятствия двухосным мобильным роботом. Основной гипотезой работы выступает предположение о том, что неравномерное распределение тяги позволяет повысить вероятность и эффективность вертикального заезда, особенно на разнородных покрытиях. Для проверки гипотезы решались следующие задачи: создание обобщенной математической модели с учетом различных коэффициентов трения горизонтальной и вертикальной поверхностей, вывод аналитических зависимостей для силовых факторов, параметрическое моделирование четырех сценариев взаимодействия с поверхностями при варьировании коэффициента распределения тяги от 0,5 до 2,0, а также определение качественных и количественных критериев осуществимости заезда. В работе использованы методы теоретической механики и кинетостатики, включая составление уравнений равновесия и численное моделирование. В результате установлены оптимальные диапазоны распределения тяги между осями: 1,3–1,6 для грунта и 0,8–1,2 для бетона. Показано, что адаптивное смещение тяги к задней оси увеличивает запас сцепления на 30–60 % в сложных условиях, способствуя энер-

гетичному преодолению препятствия. Практическая значимость работы заключается в создании теоретической основы и методики для синтеза адаптивных систем управления тягой мобильных роботов повышенной проходимости, предназначенных для применения в спасательных, инспекционных и специальных транспортных средствах.

Введение

Развитие мобильной робототехники для спасательных операций, инспекции промышленных объектов и военного применения требует создания систем с повышенной проходимостью, включая способность преодолевать вертикальные препятствия [1; 2]. Колесные движители, обладая преимуществами в энергоэффективности и управляемости [3; 4], традиционно считаются ограниченными в возможности преодоления препятствий высотой, сопоставимой с радиусом колеса [5]. Однако экспериментальные наблюдения демонстрируют возможность вертикального заезда полно-масштабных внедорожников на стенки высотой до 2,5 метров [6].

Существующие исследования в основном рассматривают либо равномерное распределение тяги между осями [7], либо динамическое преодоление препятствий за счет инерции [8]. Вопросы влияния дифференцированного распределения тяговых усилий на возможность и эффективность квазистатического вертикального заезда изучены недостаточно.

К существующим известным техниче-

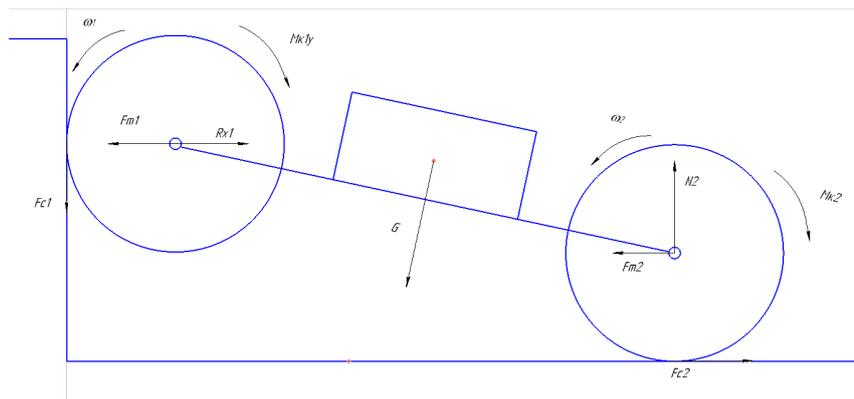


Рис. 1. Силевая схема мобильного робота при заезде на вертикальную поверхность

ким решениям в области распределения тяги для увеличения проходимости можно отнести работы [9; 10]. Робот «Маркер» с фактическим распределением тяги 40/60 между передней и средними осями ($k \approx 1,5$) подтверждает оптимальность повышенной тяги на задних осях для сложных условий [9]. Системы полного привода внедорожников с эмпирически установленным распределением 40/60 для режима «Rock Crawl» соответствуют $k = 1,5$ [6]. Также известный Луноход-1 с возможностью отключения отдельных колес фактически реализует адаптивное распределение тяги в зависимости от условий сцепления [10].

Цель статьи – разработка математической модели и проведение анализа влияния распределения тяговых усилий между передней и задней осями на возможность вертикального заезда двухосного мобильного робота с упругими колесами.

Научная новизна включает:

- вывод обобщенных уравнений кинестатики для случая неравных тяговых усилий на осях;
- определение оптимальных соотношений распределения тяги для различных сценариев взаимодействия с поверхностями;
- разработку методики синтеза адаптивных алгоритмов управления тягой.

Математическая модель и методы исследования

Ключевым фактором, обеспечивающим возможность вертикального заезда, является упругая деформация шины при контакте с острой кромкой препятствия. Для абсолютно твердого

колеса вертикальный заезд невозможен, так как линия действия нормальной реакции проходит через мгновенный центр скоростей.

Рассматривается двухосный робот с колесной формулой 4×4 (рис. 1).

Система параметров: G – вес робота, со стороны опорной поверхности на колеса действуют две нормальных реакции: горизонтальная R_{x1} и вертикальная N_2 , силы сопротивления движению $F_{c1} = R_{x1} \cdot f_{01}$ и $F_{c2} = N_2 \cdot f_{02} \cdot f_{01}$, f_{02} – коэффициент сопротивления качения, M_{k1} и M_{k2} – моменты качения колес. Угловые скорости постоянны: $\omega_1 = \omega_2 = const$.

Из уравнений равновесия для трех свободных тел (переднее колесо, корпус, заднее колесо) получены следующие реакции.

Нормальная реакция под задним колесом (1):

$$N_2 = \frac{G}{2} + \frac{F_{\tau 2} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{1 + f_{01} \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad (1)$$

где α – угол наклона корпуса робота относительно горизонтали, °.

Нормальная реакция переднего колеса о стену (2):

$$R_{x1} = \frac{F_{\tau 2}}{1 + f_{01} \cdot \operatorname{tg} \alpha} - \frac{G}{2} \cdot \frac{f_{01}}{1 + f_{01} \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (2)$$

Суммарное тяговое условие при равной тяге на осях (3):

$$\sum F_{\tau} = G \cdot \frac{f_{01} f_{02} + 2(1 + f_{01} \operatorname{tg} \alpha) - 1}{2 \cdot (\operatorname{tg} \alpha - f_{02})}. \quad (3)$$

Таблица 1. Анализируемые сценарии взаимодействия с поверхностями

Сценарий	Передняя поверхность (стена)	Задняя поверхность (земля)	Характерный случай
1	Бетон, $f_{02} = 0,01, \mu_2 = 0,85$	Бетон, $f_{01} = 0,01, \mu_1 = 0,85$	Идеальные условия
2	Грунт, $f_{02} = 0,20, \mu_2 = 0,40$	Грунт, $f_{01} = 0,20, \mu_1 = 0,40$	Сложные условия
3	Грунт, $f_{02} = 0,20, \mu_2 = 0,40$	Бетон, $f_{01} = 0,01, \mu_1 = 0,85$	Смешанный (сложный заезд)
4	Бетон, $f_{02} = 0,01, \mu_2 = 0,85$	Грунт, $f_{01} = 0,20, \mu_1 = 0,40$	Смешанный (оптимальный заезд)

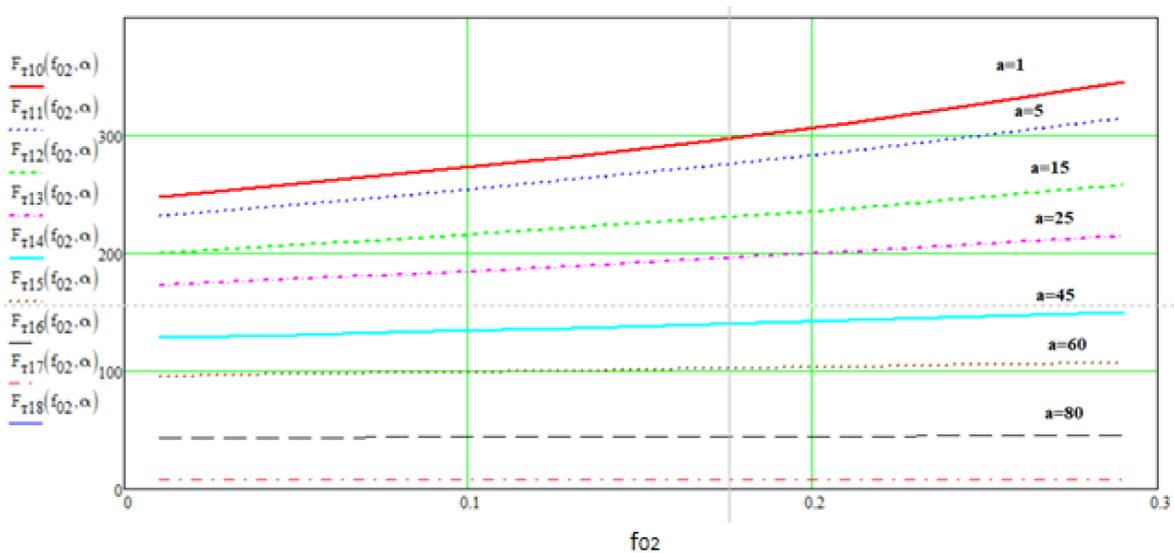


Рис. 2. Зависимость тяговых усилий от углов наклона платформы α при различных коэффициентах трения качения f_{02}

Условия отсутствия буксования (4):

$$F_{T1} \leq \mu_2 \cdot R_{x1}, F_{T2} \leq \mu_1 \cdot N_2. \quad (4)$$

В ходе работы исследованы четыре сценария взаимодействия задних и передних колес с различными поверхностями. Анализируемые сценарии сведены в табл. 1.

Результаты и анализ

Зависимость минимального тягового усилия на заднем колесе от угла наклона α и коэффициента трения качения f_{02} приведена на рис. 2 в соответствии с уравнениями кинестатики 1–4.

С увеличением угла наклона от 0° до 60° требуемая тяга снижается на 40–60 % в зависимости от f_{02} . При $f_{02} = 0,20$ (грунт) тяга в 1,5–2 раза выше, чем при $f_{02} = 0,01$ (бетон).

Наличие физически реализуемых решений во всем диапазоне углов подтверждает возможность вертикального заезда при условии достаточного тягового усилия. При увеличении α от 10° до 80° тяга снижается на 40–60 %.

Аналогичная зависимость минимального тягового усилия на переднем колесе от угла наклона и коэффициента трения качения приведена на рис. 3 в соответствии с уравнениями кинестатики 1–4.

Влияние f_{01} существенно при малых углах ($0-30^\circ$), при больших углах ($> 45^\circ$) его вклад минимизируется, так как нагрузка смещается на заднюю ось. Это подтверждает механизм перераспределения нагрузок при вертикальном заезде.

Критерий возможности заезда на вертикальное препятствие для обоих колес можно оценить в соответствии с условием (5):

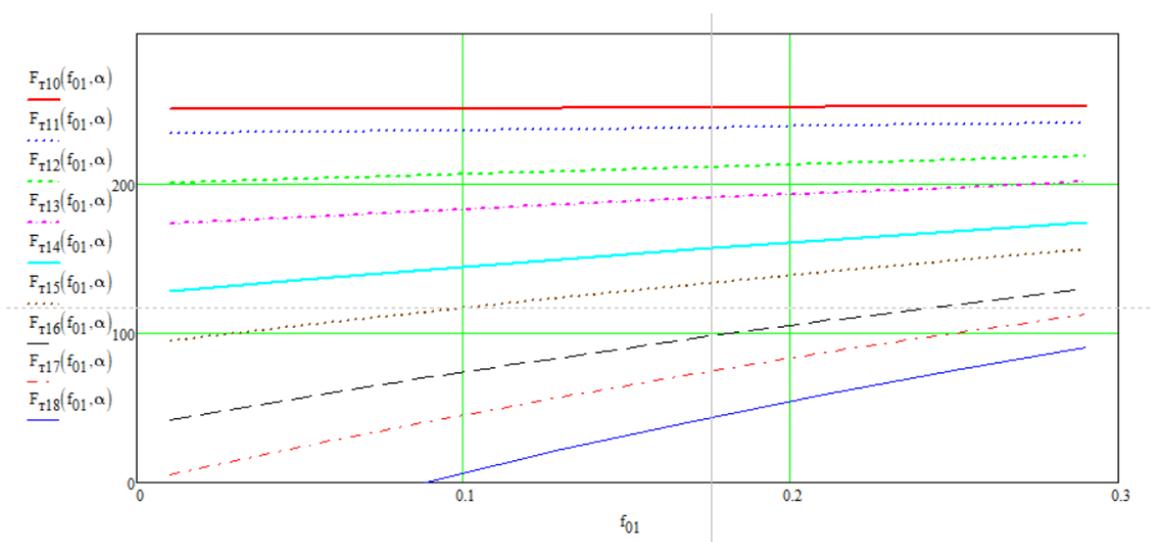


Рис. 3. Зависимость тяговых усилий от углов наклона платформы α при различных коэффициентах трения качения f_{01}

Таблица 2. Критические параметры для сценариев

Сценарий	$\alpha_{max}, \text{ }^\circ$	$\sum F_T$, при $\alpha \geq 45^\circ$, Н	Запас сцепления, %	Выполнимость
1	>80	170	78	Полная
2	58	420	8	Ограниченная
3	52	370	12	Ограниченная
4	>80	290	42	Полная

$$\sum F_T \leq \min (F_{c1}, F_{c2}), \quad (5)$$

где F_{c1}, F_{c2} – предельные силы сцепления верхнего и нижнего колеса соответственно.

В данном случае предлагается оценить сценарии преодоления препятствия при равных тяговых усилиях на задней и передней оси.

Запас сцепления в рамках проведенного исследования вычисляется как минимальное отношение предельной силы трения скольжения к фактическому тяговому усилию для каждой оси, выраженное в процентах (6):

$$\text{Запас сцепления, \%} = \min \left(\frac{\mu_2 \cdot R_{x1}}{F_{r1}}, \frac{\mu_1 \cdot N_2}{F_{r2}} \right) \cdot 100\%. \quad (6)$$

Чем выше значение запаса сцепления, тем выше запас устойчивости и ниже вероятность пробуксовки. Расчет запаса сцепления позволя-

ет оценить риск буксования каждой оси в зависимости от распределения тяги.

Тогда в соответствии с графиками на рис. 2 и 3 и условиями 4–6 можно вывести критические параметры для четырех сценариев, приведенных в табл. 1.

Сценарий I (бетон-бетон): условие $\sum F_T < \min (F_{c1}, F_{c2})$ выполняется с большим запасом >70 % во всем диапазоне углов. Заезд не вызывает затруднений. Сценарий II (грунт-грунт): наиболее напряженный режим. При $\alpha > 55^\circ$ суммарная сила тяги вплотную приближается к пределу сцепления переднего колеса со стеной F_{c1} . Высок риск пробуксовки передней оси. Сценарий III (грунт-бетон): условие по задней оси выполняется легко (хорошее сцепление с бетоном). Критическим является сцепление передних колес с грунтовой стеной. Сценарий IV (бетон-грунт): наиболее благоприятный из смешанных случаев. Высокое сцепление с

Таблица 3. Оптимальные коэффициенты k

Сценарий	$k_{\text{опт}}$	$\sum F_{\text{min}}$	$\alpha_{\text{max}}, ^\circ$	Запас сцепления, %
1	1–1,2	168	90°	78
2	1,3–1,6	378	62°	12
3	1,2–1,5	332	59°	18
4	0,8–1,1	290	90°	42

бетонной стеной и повышенное сопротивление качению на грунте под задними колесами хотя и увеличивают требуемую тягу, но полностью исключают риск проскальзывания передней оси.

Предлагается рассмотреть случай, когда тяговые усилия на передней и задней оси не равны $F_{T1} \neq F_{T2}$. Для оценки введем коэффициент распределения тяги k (7):

$$k = \frac{F_{T2}}{F_{T1}} \quad (0,5 \leq k \leq 2). \quad (7)$$

На основе анализа зависимостей коэффициентов распределения тяги k с шагом 0,5 для каждого сценария, приведенного в табл. 1, получены их оптимальные коэффициенты $k_{\text{опт}}$. Результаты приведены в табл. 3.

Из результатов в табл. 3 видно, что небольшое увеличение тяги на передней оси выгоднее только в случае четвертого сценария, когда переднее колесо взаимодействует с бетонной поверхностью, а заднее – с грунтом. Во всех же остальных случаях повышенная тяга на задней оси выгоднее для подъема, чем на передней. Распределение тяги между задней и передней осью позволило увеличить запас сцепления на 60 % в случае второго сценария и на 30 % в случае третьего сценария.

Преимущество задней оси объясняется ее ролью в создании «толкающего» момента и в обеспечении прижимной силы N_2 , необходимой для преодоления силы сопротивления качению на горизонтальном участке. Повышенная тяга сзади способствует также увеличению реакции R_{x1} переднего колеса о стену, что улучшает сцепление с вертикальной преградой. Таким образом, адаптивное смещение тяги к задней оси в

большинстве практических случаев (особенно на рыхлых или слабосцепляемых грунтах) является ключевым фактором для успешного и энергоэффективного вертикального заезда.

Заклучение

Проведенное исследование подтвердило принципиальную возможность вертикального заезда колесного мобильного робота на стенку при условии оптимального распределения тяговых усилий между осями. На основе разработанной математической модели, учитывающей неравные тяговые усилия на осях, получены следующие основные результаты:

- разработана обобщенная математическая модель вертикального заезда с учетом коэффициента распределения тяги $k = F_{T2}/F_{T1}$, позволяющая анализировать силовые факторы при дифференциальном распределении тяговых усилий;

- установлено, что оптимальное распределение тяги существенно зависит от соотношения коэффициентов трения с горизонтальной и вертикальной поверхностями: для грунтовых поверхностей оптимально $k = 1,3–1,6$, для бетонных – $k = 0,8–1,2$;

- определен количественный критерий осуществимости заезда через минимальный коэффициент трения с вертикальной поверхностью $\mu_2 > 0,4$ и вычислен запас сцепления как минимальное отношение предельной силы трения к фактическому тяговому усилию.

Полученные результаты создают теоретическую основу для проектирования мобильных робототехнических систем повышенной проходимости и могут быть применены в спасательной технике, инспекционных комплексах и специальных транспортных средствах.

Список литературы

1. Siciliano, B. Springer handbook of robotics / B. Siciliano, O. Khatib (eds.). – Berlin : Springer, 2016. – 2257 p.
2. Kececi, E. Mobile robots for dynamic environments / E. Kececi, M. Ceccarelli, et al. – N.Y. : ASME Press, 2015. – 305 p.
3. Wong, J.Y. Theory of ground vehicles / J.Y. Wong. – 4th ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2008. – 592 p.
4. Grand, Ch. Stability and traction optimization of a reconfigurable wheel-legged robot / Ch. Grand, et al. // The International Journal of Robotics Research. – 2004. – Vol. 23. – No. 10–11. – P. 1041–1058.
5. Bekker, M.G. Introduction to terrain-vehicle systems / M.G. Bekker. – Ann Arbor : University of Michigan Press, 1969. – 220 p.
6. Formula Off-Road: гонки по вертикальной стене // TechInsider.
7. Pacejka, H.B. Tire and vehicle dynamics / H.B. Pacejka. – 3rd ed. – Amsterdam : Elsevier, 2012. – 672 p.
8. Quaglia, G. The Epi.q-1 hybrid mobile robot / G. Quaglia, [et al.] // International Journal of Robotics and Automation. – 2011. – Vol. 26. – No. 1. – P. 1–10.
9. Российский «Маркер»: перспективное оружие против диверсантов // TopWar.
10. Лавров, Е.А. Луноход-1: конструкция и результаты эксплуатации / Е.А. Лавров, В.П. Васильев. – М. : Машиностроение, 2018. – 280 с.

References

6. Formula Off-Road: gonki po vertikal'noy stene // TechInsider.
9. Rossiyskiy «Marker»: perspektivnoye oruzhiye protiv diversantov // TopWar.
10. Lavrov, Ye.A. Lunokhod-1: konstruktsiya i rezul'taty ekspluatatsii / Ye.A. Lavrov, V.P. Vasil'ev. – M. : Mashinostroyeniye, 2018. – 280 s.

© Н.О. Тапеха, А.С. Чурсин, О.А. Шмаков, 2025

УДК 621. 039.6

А.М. КУДРЯВЦЕВА

АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ ПАНЕЛИ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ИТЭР НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ключевые слова: лазерная сварка; Международный термоядерный экспериментальный реактор (ИТЭР); метод конечных элементов; панели первой стенки; пайка; термостабилизация.

Аннотация. При отработке технологии изготовления и сборки высоконагруженных панелей первой стенки ИТЭР были выявлены образцы, содержащие дефекты, что недопустимо. Цель данной работы – изучение причин образования технологических дефектов при изготовлении и сборке панелей первой стенки ИТЭР, а также совершенствование технологии на основе компьютерного моделирования. Основными оценочными параметрами качества и технологичности изготовления и сборки панелей первой стенки являются прочность, целостность и герметичность элементов конструкции и их соединений, в частности предложена методика оценки по нормальным напряжениям, возникающим в зоне образования дефектов. Разработанные расчетные модели и методика оценки позволили существенно повысить производительность и качество технологии изготовления и сборки панелей первой стенки ИТЭР за счет сокращения объемов макетных испытаний.

Введение

Вакуумная камера является одним из ключевых компонентов международного реакторотомока ИТЭР и предназначена для обеспечения условий, необходимых для проведения термоядерного синтеза и удержания плазмы, в том числе выполняет функцию физического барьера, поддерживая вакуум, и предотвра-

щает взаимодействие плазмы с окружающим оборудованием. Внутренние стенки вакуумной камеры облицованы панелями первой стенки (ППС), которые являются одними из наиболее нагруженных элементов реактора, так как непосредственно обращены к плазме. Каждая панель первой стенки является сборочной единицей и включает в себя обращенные к плазме компоненты, так называемые пальцы, и основание (рис. 1). Пальцы ППС состоят из следующих компонентов:

- основание пальца, выполненное из нержавеющей стали (316L(N)-IG), основной функцией которого является сопротивление электромагнитным и тепловым нагрузкам;
- биметаллическая крышка (сталь 316L(N)-IG – бронза CuCrZr) с каналом охлаждения типа гипервапатрон для удаления значительных тепловых потоков в воду;
- защитная бериллиевая облицовка, которая служит для защиты пальца от тепловых нагрузок [1; 2].

АО «НИИЭФА» является одним из основных изготовителей высоконагруженных панелей первой стенки ИТЭР и отвечает за изготовление элементов конструкции и сборку пальцев, финальную сборку и испытания панелей. Согласно принятому в международной организации ИТЭР подходу каждый технологический процесс должен быть квалифицирован до начала серийного производства на макетах упрощенной конфигурации. Основной целью квалификационной программы является подтверждение качества и эффективности предложенной технологии изготовления и сборки, а также качества конечного изделия. Макет пальца высоконагруженной панели первой стенки ИТЭР представлен на рис. 2. Анализ технологических процессов и результатов опытных работ, выполненных

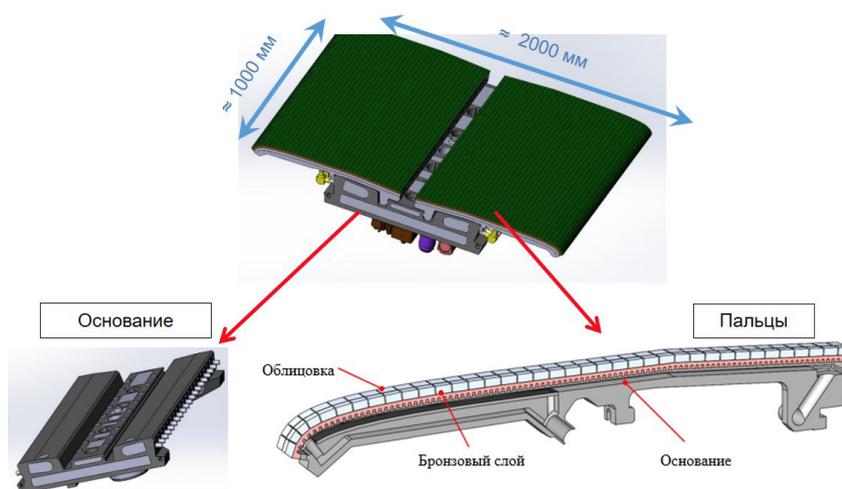


Рис. 1. Панель первой стенки ИТЭР

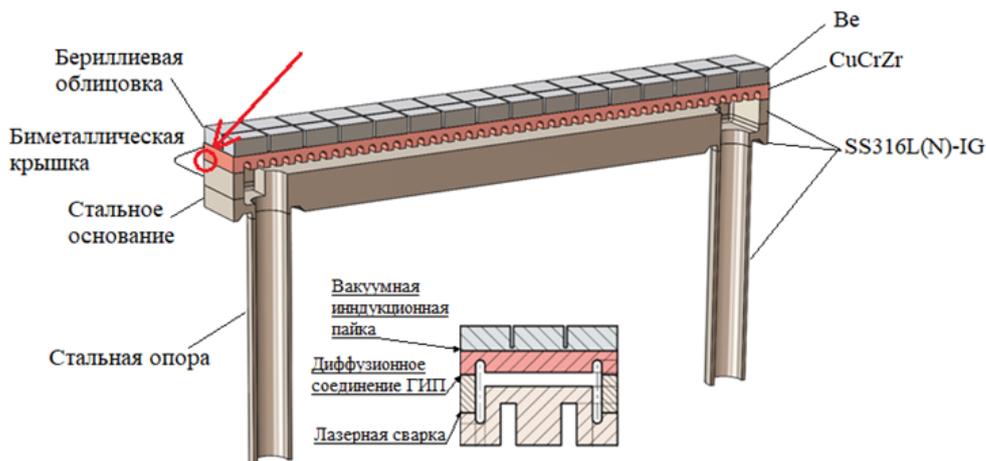


Рис. 2. Общий вид макета пальца ППС в разрезе

по реализации квалификационной программы основных технологических операций, указал на несовершенство технологии термостабилизации, проводимой после лазерной сварки стального основания и биметаллической крышки, а также вакуумной индукционной пайки. При выполнении данных операций были выявлены существенные дефекты (трещины) по биметаллическому соединению в угловых зонах макетов пальцев ППС (отмечено на рис. 2), что совершенно недопустимо. К целостности вакуумно-плотного биметаллического соединения предъявляются высокие требования, поскольку непосредственно обращенные к плазме панели первой стенки, охлаждаемые водой, защищают

остальные элементы реактора от тепловых нагрузок [3; 4].

В настоящее время активно развиваются и применяются CAE-программы, которые позволяют выполнять компьютерное моделирование технологических процессов, основным преимуществом которого является значительная экономия времени и ресурсов по сравнению с испытаниями реальных образцов. Целью данной работы является изучение причин образования технологических дефектов при изготовлении и сборке панелей первой стенки ИТЭР, а также совершенствование технологии на основе компьютерного моделирования. Для решения поставленной задачи были разработаны рас-

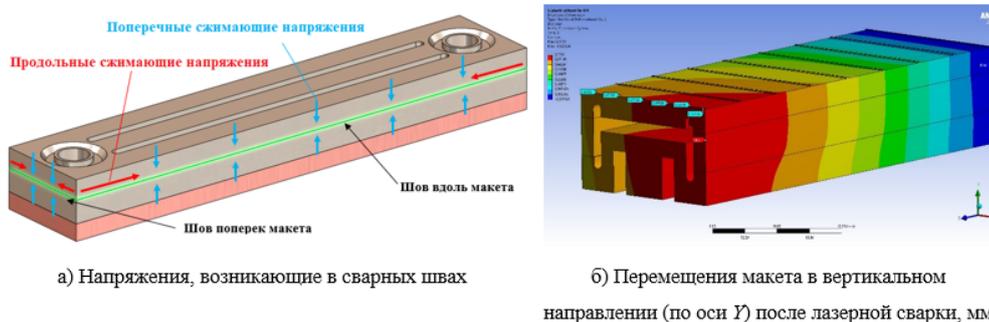


Рис. 3. Моделирование лазерной сварки стального основания и биметаллической крышки пальца ППС ИТЭР

четные модели предварительной оценки состояния конструкции макета панелей первой стенки ИТЭР при отработке указанных технологий и их оптимизации с целью обеспечения требуемого качества (герметичность и целостность) конечного изделия.

Методы

Основными оценочными параметрами качества и технологичности изготовления и сборки пальцев панелей первой стенки являются прочность, целостность элементов конструкции и герметичность их соединений. Когда речь идет про опытные образцы макетов ППС, после изготовления отдельных элементов и последующей сборки каждый образец проверяется на герметичность путем гидроиспытаний и испытаний гелием. Для оценки качества технологии изготовления и сборки ППС ИТЭР на основе компьютерного моделирования предложена следующая методика.

В рамках работы над поставленной задачей было выполнено компьютерное моделирование исследуемых технологических процессов: термостабилизация и вакуумная индукционная пайка, что включает в себя разработку математической модели и последующее решение поставленной задачи методом конечных элементов в программном пакете *Ansys WorkBench*. Результаты решения поставленных задач позволили получить представление о напряженно-деформированном состоянии (НДС) макетов в ходе выполнения указанных технологических процессов, на основании чего была выполнена оценка качества изделия и эффективности его изготовления.

Термостабилизация: для выполнения кор-

ректной оценки состояния макета при термостабилизации необходимо учесть остаточные напряжения в макете, наследованные на предыдущем этапе – лазерной сварки. Таким образом, были выполнены расчеты НДС макета в несколько расчетных шагов: первые расчетные шаги моделирует процесс лазерной сварки, а последние – термостабилизацию. На каждом расчетном шаге нагрузками являются тепловые поля, при моделировании процесса лазерной сварки была введена дополнительная нагрузка – сила, действующая вдоль сварных швов и обусловленная сжимающими остаточными напряжениями в области сварных швов (рис. 3а), что привело к геометрическим поводкам макета (рис. 3б). Указанные выше геометрические поводки также наблюдались после выполнения термостабилизации, что позволило верифицировать предложенную методику расчета путем сопоставления результатов расчетов и опытных измерений, тем самым подтвердило достоверность разработанной модели [5]. Подробное описание разработанной методики математического моделирования лазерной сварки приведено в работе [6].

Всего было рассмотрено три альтернативных варианта термостабилизации («жесткий», «релаксирующий» и «мягкий»), выполняемых в вакуумной печи. Зависимость температуры макета от времени для каждого из рассматриваемых режимов представлена на рис. 4 [7]. Выбор оптимального режима термостабилизации, обеспечивающего требуемое качество изделия, основан на двух критериях. Основная цель термической обработки – частичная релаксация напряжений в изделии, возникающих на этапе сварки. Таким образом, снижение эквивалентных напряжений в макете является одним из

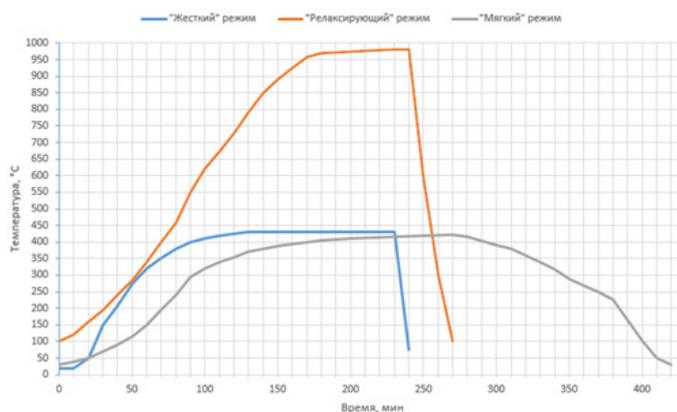


Рис. 4. Режимы термостабилизации, зависимость температуры макета от времени

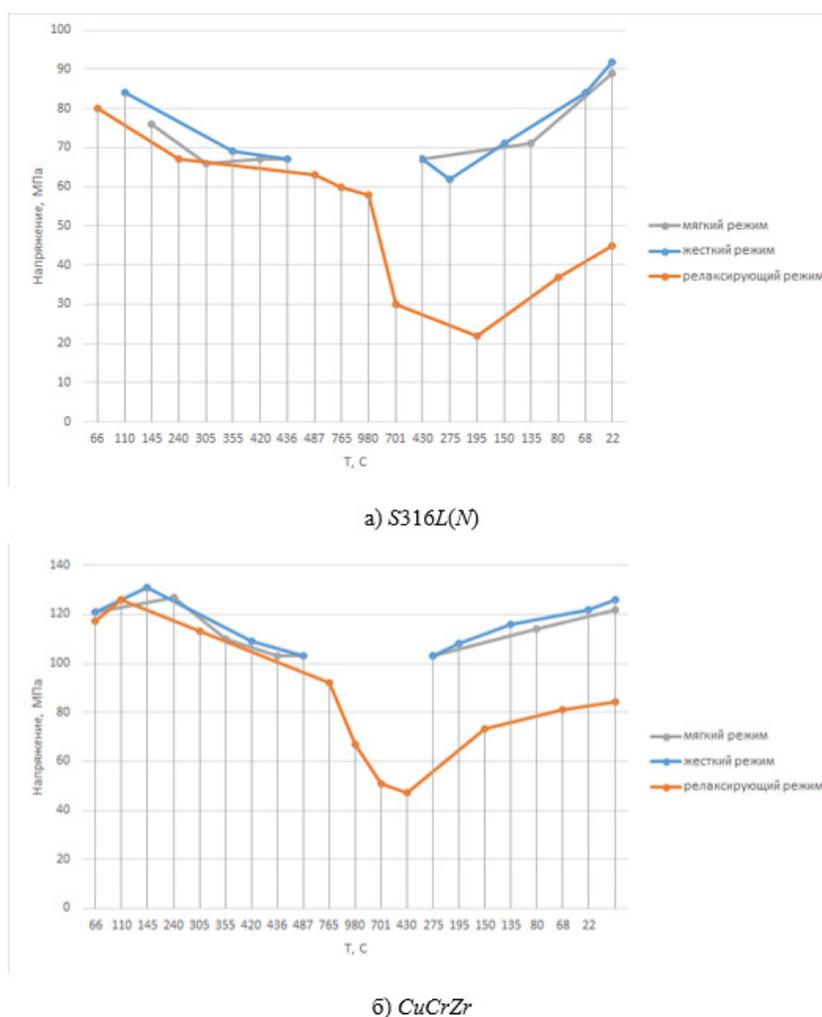


Рис. 5. Зависимость нормальных напряжений от температуры в углу макета в процессе термостабилизации

критериев выбора оптимального режима термостабилизации. По результатам анализа на-

пряженно-деформированного состояния макета после лазерной сварки и после выполнения

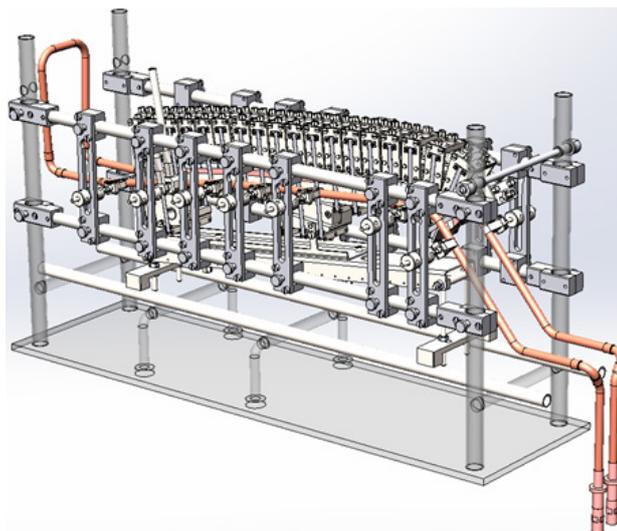


Рис. 6. Положение пальца панели первой стенки в индукторе [10]

термостабилизации было получено, что эквивалентные напряжения в сварных швах снижаются в среднем на 50 % по отношению к состоянию после лазерной сварки при выполнении каждого из рассматриваемых режимов термостабилизации.

Термостабилизация макетов выполняется в закрытой вакуумной печи, поэтому в ходе натурных испытаний невозможно определить момент нарушения целостности биметаллического соединения (нагрев, выдержка или охлаждение). Поэтому необходимо учитывать вероятность нарушения качества изделия не только после окончания термостабилизации, но и в процессе выполнения данной технологической операции. Благодаря предложенной методике компьютерного моделирования исследуемых технологических процессов становится возможно оценить прочность конструкции в любой момент рассматриваемого процесса, тем самым определить причины нарушения качества изделия. Появление дефектов в углу макета вызвано растягивающими нормальными напряжениями, направленными перпендикулярно стыку сталь – бронза, поэтому вторым критерием качества изделия в процессе термостабилизации приняты нормальные напряжения в углу макета в зависимости от этапа термостабилизации: нагрев, выдержка при заданной температуре, остывание.

В силу того, что параметры рассматриваемых режимов термостабилизации отличаются по скорости нагрева и остывания, а также по

времени и температуре, при которых происходит выдержка макета (рис. 4), было принято решение выполнить сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния макета в процессе выполнения термостабилизации каждого из рассматриваемых режимов при одинаковых значениях температур в углу макета. Для этого был построен график зависимости нормальных напряжений в углу макета от температуры для каждого элемента биметаллической крышки (стальной и бронзовой части), представленный на рис. 5.

При отработке технологии термостабилизации «жесткого» режима на опытных образцах наблюдалось нарушение качества изделия, а именно его целостности – появления дефектов в биметаллическом соединении в углу макета. Следовательно, напряжения, полученные в результате расчета НДС макета под действием теплового распределения «жесткого» режима, считаются наиболее информативными и являются критерием качества изделия. По приведенным данным видно, что нормальные напряжения при «релаксирующем» режиме ниже, чем при «жестком» и «мягком», для любого значения температур, то есть на всех этапах технологического процесса термостабилизации (нагрев, выдержка при заданной температуре, остывание). Таким образом, «релаксирующий» режим термостабилизации в большей степени удовлетворяет требуемым критериям качества ППС.

Особенностью вакуумной индукционной пайки бериллиевой облицовки пальцев ППС

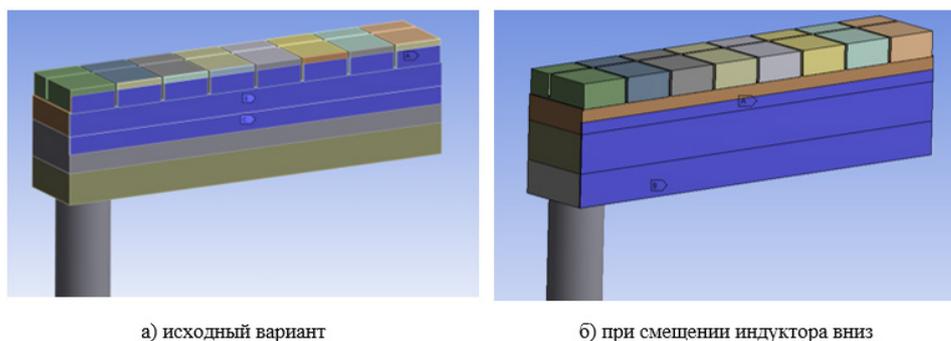


Рис. 7. Зона нагрева макета от индуктора

является применение высокой скорости нагрева зоны пайки при помощи индуктора (рис. б) и последующего быстрого охлаждения за счет излучения и отвода тепла менее нагретыми элементами конструкции.

Оценка качества технологии вакуумной индукционной пайки была выполнена на основании расчета напряженно-деформированного состояния макета под действием тепловых нагрузок в упругой постановке [8; 9]. В данном случае появление дефектов в углу макета также вызвано растягивающими нормальными напряжениями, направленными перпендикулярно стыку сталь – бронза, что также принято параметром качества изделия.

По результатам расчетов НДС макета в процессе вакуумной индукционной пайки облицовки было получено, что при нагреве наибольшие напряжения в углу – растягивающие, в процессе остывания – сжимающие, то есть появление дефектов в процессе пайки более вероятно на этапе нагрева макетов, чем во время остывания. Следовательно, для повышения качества и эффективности технологии вакуумной индукционной пайки бериллиевой облицовки необходимо изменять параметры нагрева макета.

Предложенный вариант изменения нагрева макета в процессе пайки заключается в перемещении индуктора вниз относительно исходного положения для более равномерного прогрева пальца, благодаря чему нормальные напряжения в углу макета на стыке сталь – бронза в среднем уменьшились на 40 % по сравнению с исходным положением индуктора. Таким об-

разом, перемещение индуктора позволяет достичь требуемого качества изделия, то есть обеспечить его целостность и прочность. Значение смещения индуктора выбрано с учетом особенностей установки для быстрой индукционной пайки. Зоны макета, нагреваемые индуктором, представлены на рис. 7.

Следует отметить, что в настоящее время активно обсуждается переход от бериллиевой облицовки ППС к вольфрамовой [11]. Предложенная методика оценки качества и эффективности технологии вакуумной индукционной пайки является актуальной и может быть применена для анализа конструкции с использованием любого из предложенных конструкционных материалов.

Заключение

В работе представлена методика оценки качества технологии изготовления и сборки высоконагруженной панели первой стенки ИТЭР на основе компьютерного моделирования, по результатам чего были даны практические рекомендации по осуществлению технологического процесса изготовления и сборки ППС, которые были учтены при производстве серийных ППС ИТЭР в АО «НИИЭФА». Таким образом разработанные расчетные модели позволили существенно повысить производительность и качество технологического процесса изготовления и одноразовой сборки панелей первой стенки ИТЭР за счет сокращения объемов макетных испытаний.

Список литературы

1. Mitteau, R. The design of the ITER first wall panels / R. Mitteau, B. Calcagno, P. Chappuis, [et al.] // Fusion Engineering and Design. – 2013. – Vol. 88. – Issues 6–8. – P. 568–570.

2. Piskarev, P.Yu. High heat flux components with beryllium armour: from the small-scale mock-ups to the full-scale prototype of the ITER first wall panel / P.Yu. Piskarev, A.A. Gervash, D.A. Glazunov, [et al.] // *Fusion Engineering and Design*. – 2024. – Vol. 203. – P. 114473.
3. Mazul, I.V. Technological challenges at manufacturing plasma-directed ITER components in Russia / I.V. Mazul, V.A. Belyakov, A.A. Gervash, [et al.] // *Fusion Engineering and Design*, 2016. – P. 1028–1034.
4. Пискарев, П.Ю. Опыт прохождения квалификации критических технологий изготовления высоконагруженных панелей первой стенки ИТЭР / П.Ю. Пискарев, А.А. Герваши, А.Ю. Огурский, [и др.] // *Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии : материалы III Междунар. конф., Таруса, 16–21 октября 2023 г. – Таруса : Издательский дом МЭИ, 2023. – С. 83–84.*
5. Кудрявцева, А.М. Компьютерное моделирование этапов технологического процесса изготовления панелей первой стенки ИТЭР методом конечных элементов / А.М. Кудрявцева, А.Н. Лабусов, П.Ю. Пискарев // *X Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов атомной отрасли «Команда» : сборник тезисов, Санкт-Петербург, 27–30 июня 2023 г. – СПб : Издательский дом «Недра», 2023. – С. 45–47.*
6. Кудрявцева, А.М. Моделирование напряженно-деформированного состояния элементов первой стенки реактора ИТЭР в процессе лазерной сварки / А.М. Кудрявцева, А.Н. Лабусов // *Инновационные идеи в машиностроении : сборник научных трудов Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых / под ред. А.А. Поповича, Д.П. Гасюка. – СПб, 2022. – С. 271–274.*
7. Кудрявцева, А.М. Исследование режимов термостабилизации панелей первой стенки реактора ИТЭР на основе компьютерного моделирования методом конечных элементов / А.М. Кудрявцева, А.Н. Лабусов, П.Ю. Пискарев, М.М. Радкевич // *Металлообработка. – 2024. – № 4. – С. 48–55.*
8. Кудрявцева, А.М. Моделирование процесса пайки бериллиевой облицовки высоконагруженной первой стенки термоядерного реактора ИТЭР : выпускная квалификационная работа магистра : 15.04.03 – Прикладная механика / А.М. Кудрявцева. – Санкт-Петербург, 2019. – 70 с.
9. Piskarev, P.Y. Study of the bimetallic joint CuCrZr/316L(N) / P.Y. Piskarev, A.A. Gervash, S.A. Vologzhanina, B.S. Ermakov, A.M. Kudryavtseva // *Materials Science Forum*. – 2021. – Vol. 1040. – P. 8–14.
10. Пискарев, П.Ю. Технология вакуумной индукционной пайки облицовки высоконагруженных панелей первой стенки ИТЭР / П.Ю. Пискарев, А.А. Герваши, А.Ю. Огурский, и др. // *ВАНТ. Серия: Термоядерный синтез. – 2024. – Т. 47. – № 1. – С. 122–132.*
11. Бериллиевую облицовку реактора ITER планируют заменить на вольфрамовую // *Пресс-центр НИЯУ МИФИ. – 2023.*

References

4. Piskarev, P.YU. Opyt prokhozheniya kvalifikatsii kriticheskikh tekhnologiy izgotovleniya vysokonagruzhennykh paneley pervoy stenki ITER / P.YU. Piskarev, A.A. Gervash, A.YU. Ogurskiy, [i dr.] // *Problemy termoyadernoy energetiki i plazmennyye tekhnologii : materialy III Mezhdunar. konf., Tarusa, 16–21 oktyabrya 2023 g. – Tarusa : Izdatel'skiy dom MEI, 2023. – S. 83–84.*
5. Kudryavtseva, A.M. Komp'yuternoye modelirovaniye etapov tekhnologicheskogo protsesssa izgotovleniya paneley pervoy stenki ITER metodom konechnykh elementov / A.M. Kudryavtseva, A.N. Labusov, P.YU. Piskarev // *X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh i spetsialistov atomnoy otrasli «Komanda» : sbornik tezisov, Sankt-Peterburg, 27–30 iyunya 2023 g. – SPb : Izdatel'skiy dom «Nedra», 2023. – S. 45–47.*
6. Kudryavtseva, A.M. Modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya elementov pervoy stenki reaktora ITER v protsesse lazernoy svarki / A.M. Kudryavtseva, A.N. Labusov // *Innovatsionnyye idei v mashinostroyenii : sbornik nauchnykh trudov Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh / pod red. A.A. Popovicha, D.P. Gasyuka. – SPb, 2022. – S. 271–274.*
7. Kudryavtseva, A.M. Issledovaniye rezhimov termostabilizatsii paneley pervoy stenki reaktora ITER na osnove komp'yuternogo modelirovaniya metodom konechnykh elementov / A.M. Kudryavtseva, A.N. Labusov, P.YU. Piskarev, M.M. Radkevich // *Metalloobrabotka. – 2024. – № 4. –*

S. 48–55.

8. Kudryavtseva, A.M. Modelirovaniye protsessa payki berilliyevoy oblitsovki vysokonagruzhennoy pervoy stenki termoyadernogo reaktora ITER : vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota magistra : 15.04.03 – Prikladnaya mekhanika / A.M. Kudryavtseva. – Sankt-Peterburg, 2019. – 70 s.

10. Piskarev, P.YU. Tekhnologiya vakuumnoy induktsionnoy payki oblitsovki vysokonagruzhennykh paneley pervoy stenki ITER / P.YU. Piskarev, A.A. Gervash, A.YU. Ogurskiy, i dr. // VANT. Seriya: Termoyadernyy sintez. – 2024. – T. 47. – № 1. – S. 122–132.

11. Berilliyevuyu oblitsovku reaktora ITER planiruyut zamenit' na vol'framovuyu // Press-tsentr NIYAU MIFI. – 2023.

© А.М. Кудрявцева, 2025

УДК 347.77:65.012.8

В.И. ШЕНДЕРОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе», г. Москва

ПАТЕНТНАЯ И ЛИЦЕНЗИОННАЯ СТРАТЕГИЯ В ИННОВАЦИОННОМ СТАРТАПЕ

Ключевые слова: аналитические инструменты; инновационный стартап; отличительные признаки; патентная стратегия; последовательный процесс.

Аннотация. Цель исследования – обосновать применение аналитических инструментов С. Воронина для разработки патентной стратегии в инновационных стартапах. Задачи: анализ методов составления заявок, интеграция искусственного интеллекта (ИИ) и нейросетей в технические системы. Гипотеза: использование данных инструментов повышает эффективность патентной защиты. Методы: сравнительный анализ, изучение алгоритмов и *case study*. Результаты: подтверждена практическая ценность методики для формирования интегративных решений и снижения рисков, что проиллюстрировано на примере технологии селективного травления.

РИТМ-ТЕХНОЛОГИЯ – это размерное избирательное травление металла.

Отличительный признак технологии – метод производства модуля для установки, охлаждения, управления и контроля энергетически насыщенных оптических-электронных систем, включающий:

- подготовку поверхности стальной ленты (рулона) (вместо стальной может быть указана металлическая);
- нанесение фоторезиста;
- проявление фоторезиста;
- скоростное струйное электрохимическое покрытие никеля (толщиной в 2–3 микрона);
- скоростное струйное электрохимическое покрытие меди (толщиной в 25–35 микрон), поскольку этот технологический феномен является основным базовым отличием и формирует пакет существенных преимуществ метода, – ав-

тор дает некоторое объяснение этому феномену.

Скоростное струйное электрохимическое покрытие – гальванический процесс в селективно ориентированном направленном потоке электролита с постоянной, обновляющей электролит системой рециркуляции, в которую входят элементы.

1. Емкость с электролитом с определенными параметрами режима содержания электролита как концентрации никеля и меди, температуры, уровня кислотности или щелочности, плотности электрической (проводимости) (благодаря преимуществам технологии нет необходимости в использовании органических добавок).

2. Насос с фильтром.

3. Анод для струйной металлизации, который имеет растворимые и нерастворимые в данном типе электролита компоненты, установленные последовательно по ходу движения электролита, причем нерастворимый компонент выполнен из композитной, углерод-углеродной, углеграфитной токопроводящей ткани, расположен параллельно металлируемой поверхности и является последним по ходу движения электролита и первым перед покрываемой поверхностью (катодом); оба компонента подсоединены к положительному электрическому потенциалу и имеют избирательную регулируемую проницаемость для электролита.

В аноде имеется система равномерного распределения электролита по плоскости растворимого компонента, которая автоматически повторяется на нерастворимом компоненте, а следовательно, и на металлируемой поверхности (катоде):

- удаление фоторезиста;
- травление железа с одной стороны, на половину толщины стальной ленты;
- удаление продуктов травления с поверхности аэродинамическим и за этим гидродинамическим воздействием;

– опрессовка жидкотекучей полимерной композицией – по такому порядку: заливка мономером, последующая полимеризация, термическая стабилизация;

– травление железа со второй стороны (с теми же отличиями);

– опрессовка со второй стороны (с теми же отличиями);

– нанесение протектора на электропроводные структуры;

– покрытие в вакууме всех теплопроводящих структур – слоистой системой из полупроводниковых наноразмерных структурных поликристаллических алмазных пленок.

Название предполагаемого изобретения должно содержать не только краткое определение характера технического решения, но и предельно краткую коммерческую характеристику его влияния на рынок в пределах области использования предлагаемого технического решения. Название не должно содержать никаких рекламных характеристик: эффективный, наилучший и т.п. Очень важно в названии изобретения учесть динамику рынка, существующую на момент подачи заявки. В случае если в цели авторов (или их компаний и финансовых партнеров) и заявителей входит в дальнейшем привлечение дополнительных инвестиций в развитие проекта, базой которого должно явиться заявляемое техническое решение, желательно учесть в названии известные технологические и коммерческие интересы потенциальных партнеров. Так как для патентного эксперта в США очень существенное значение имеет доказательство неочевидности заявляемого технического решения, то предельно важно учесть критерии и характер неочевидности в названии изобретения.

Технические системы, относящиеся к так называемым умным технологиям и оборудованию, как правило, должны включать программную часть, которая сама по себе техническим решением не является и не может классифицироваться как техническая система. Но так как программные решения являются основой систем управления и контроля любой современной умной технологии, то и в названии изобретения это должно быть учтено, то есть название изобретения должно быть представлено в виде – устройство, программа, система и метод или – аппарат, программа, система и метод. Кроме того, при классификации технической системы (как умной системы), имеющей

элементы искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей, необходимо иметь также накопители информации с соответствующим объемом информации и соответствующим быстродействием. Этот фактор должен быть отражен в названии: например, аппарат, программа, система с накопителями памяти и ассоциированный метод пользования.

В тексте заявки, относящемся к описанию процесса испытаний и характеру результатов испытаний, необходимо дать подробное детальное объяснение принципов построения испытательного процесса в сочетании с аналитической обработкой результатов испытаний, и в том числе с требованиями стандартов, действующих в период проведения испытаний. Описание должно включать характер общих отличительных признаков предполагаемого изобретения и их причинно-следственной связи с полученными результатами. Также необходимо указать, насколько новыми и неочевидными являются полученные результаты. Важно показать связь изобретения с умными технологиями и возможностями комбинирования программных продуктов нового решения с элементами конструкции аппарата или системы, формирующими комплекс новых технических решений, положенных в основу предлагаемого изобретения.

Далее необходимо проанализировать общие отличительные признаки изобретения, которые отличают его от известных патентных материалов. Как пример, рассмотрим изобретение – двигатель внутреннего сгорания, отнесенный к умным транспортным системам по всем элементам конструкции и принципов действия:

– двигатель внутреннего сгорания, в систему подачи и подготовки топливной смеси которого интегрировано устройство для динамического смешивания жидкого топлива с другими компонентами топливной смеси;

– рабочий цикл устройства для динамического смешивания жидкого топлива с другими компонентами топливной смеси происходит в топливном трубопроводе при основных параметрах работы топливного трубопровода, которые имеют место в обычном рабочем цикле любого двигателя внутреннего сгорания;

– в работе двигателя с интегрированным устройством для динамического смешивания жидкого компонента топливной смеси с другими компонентами топливной смеси используются только материалы и вещества, которые принято применять при работе серийных дви-

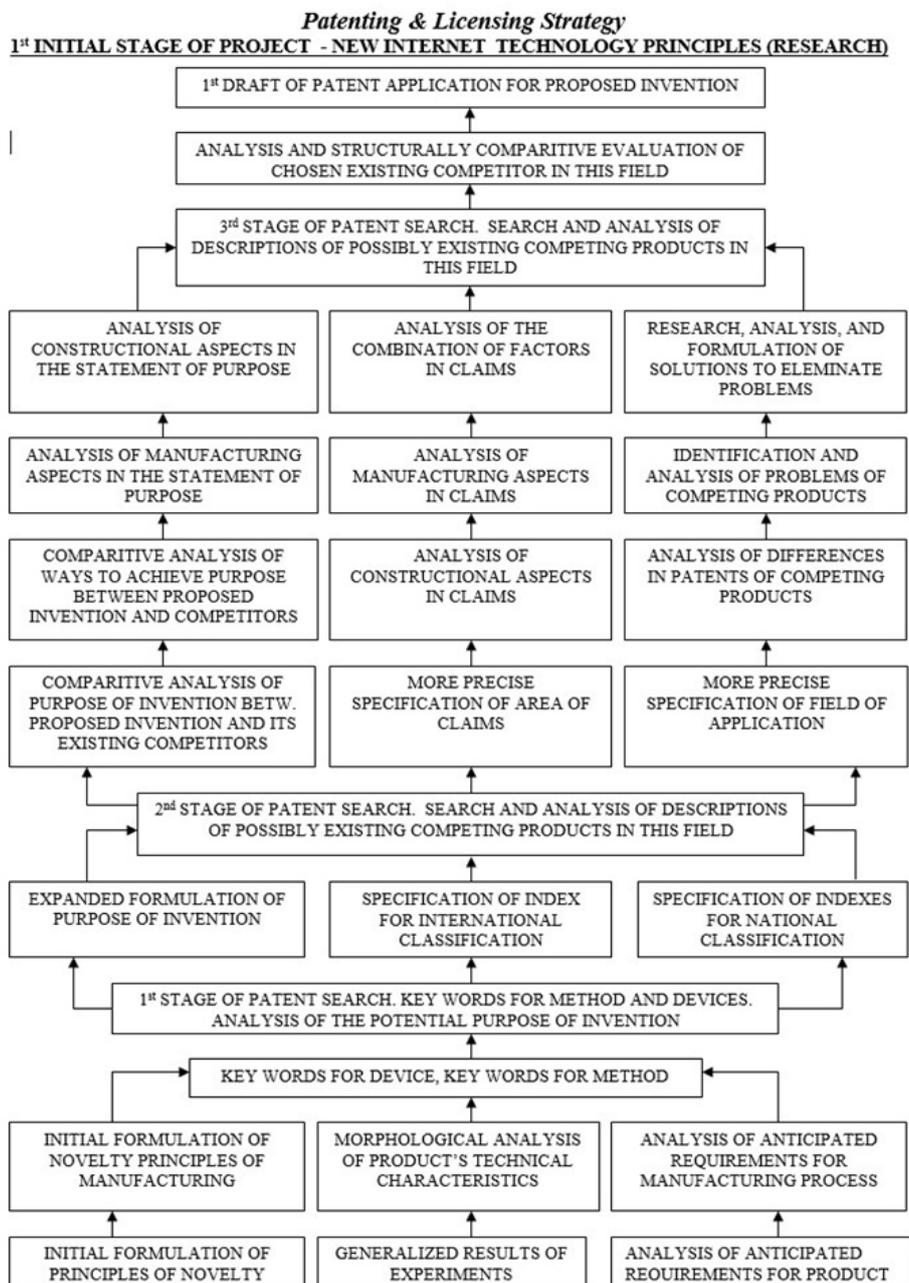


Рис. 1. Алгоритм патентной и лицензионной стратегии первого этапа организации и развития проекта в стартапе с учетом применения элементов искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей

гателей внутреннего сгорания;

– устройство для динамического смешивания компонентов имеет два последовательно расположенных по ходу движения топлива комплексных вводных устройств, завершающихся вихревыми генераторами, формирующими в пределах топливного трубопровода вихревую трубу;

– устройство для динамического смешивания компонентов топливной смеси имеет систему смешивания, которая в процессе уравнивает уровень турбулентности в каждом поперечном сечении топливного трубопровода в центре поперечного сечения трубопровода и на его периферии;

– топливная смесь на выходе из устрой-

шений топливная смесь перед впрыском в цилиндр или камеру сгорания не имеет такой состав и структуру.

В случае, если в качестве компонента топливной смеси выступает газ, вследствие того что в устройстве для динамического смешивания жидкого топлива с другими компонентами топливной смеси площадь контактной поверхности в пограничном слое «жидкость–газ» увеличивается по сравнению с противопоставленными техническими решениями по крайней мере на порядок (как минимум в десять раз), концентрация растворенного газа в жидкости увеличивается пропорционально увеличению площади контакта. Для смешивания применяются только материалы и компоненты, как жидкие, так и газообразные, которые традиционно используются для приготовления топливных смесей; в предлагаемом техническом решении применяются только известные технологические приемы и действия – только гидродинамическое и аэродинамическое смешивание, и не применяются технологические приемы и действия, используемые в известных патентных приложениях.

Исходя из результатов испытаний прототипа предложенного технического решения, интегрированного в топливную систему серийного дизельного двигателя, полученный результат является новым для реальной практики эксплуатации дизельных двигателей и составляет 97 % снижения уровня сажи, образовавшейся в результате горения топливной смеси в цилиндрах двигателя. Такой результат является абсолютно новым как для дизельных, так и для бензиновых двигателей, и ни одно из известных технических решений ни по одному из своих признаков не решает эквивалентной технической задачи на таком уровне. Это означает, что противопоставление известных технических решений предложенному техническому решению с доказанной полной работоспособностью и документально подтвержденной эффективностью, для всех известных четырех технических решений с неопределенной работоспособностью и недоказанной эффективностью, является с технической точки зрения неправомерным. Кроме того, предотвращение образования сажи в цилиндрах двигателя за счет только гидродинамического и аэродинамического смешивания стандартных компонентов топливной смеси, не известного по предыдущим публикациям и изобретениям и также отсутствующего в известных

технических решениях, является по отношению к каждому из известных технических решений отдельно и всем противопоставленным техническим решениям в совокупности абсолютно новым.

Как пример аналитической оценки по методике Сергея Воронина, приводим сравнительную характеристику инновационного продукта, который в общем можно представить как, например, топливную смесь, и заключается она в следующем:

- продукт формируется в течение короткого промежутка времени; это время может быть равным как минимум нескольким миллисекундам, за которые продукт получает все необходимые характеристики и свойства и сразу становится пригодным к дальнейшему применению;

- продукт сохраняет свои свойства в течение длительного времени, если давление, под которым он сформирован, не изменяется или если оно увеличивается;

- продукт способен сохранить свои свойства и характеристики и при резком повышении давления (при испытаниях получено давление продукта до 2 000 бар и при этом никаких изменений в структуре и свойствах продукта не обнаружено);

- продукт имеет гибкую гидродинамическую структуру;

- продукт имеет гибкую химическую структуру;

- продукт может состоять полностью из однородных по свойствам жидкостей и газов, при этом все жидкие и газообразные компоненты могут быть смешаны в различных пропорциях и сочетаниях;

- продукт может состоять из неоднородных по свойствам жидкостей и газов, при этом все жидкие и газообразные компоненты могут быть смешаны в различных пропорциях и сочетаниях;

- к продукту после формирования могут быть добавлены различные химические вещества, не входящие в состав исходного продукта;

- к продукту во время формирования могут быть добавлены различные химические вещества, не входящие в состав исходного продукта.

Изобретенный продукт может иметь множество разновидностей. К разновидностям изобретенного продукта можно отнести:

- гомогенную смесь, состоящую как ми-

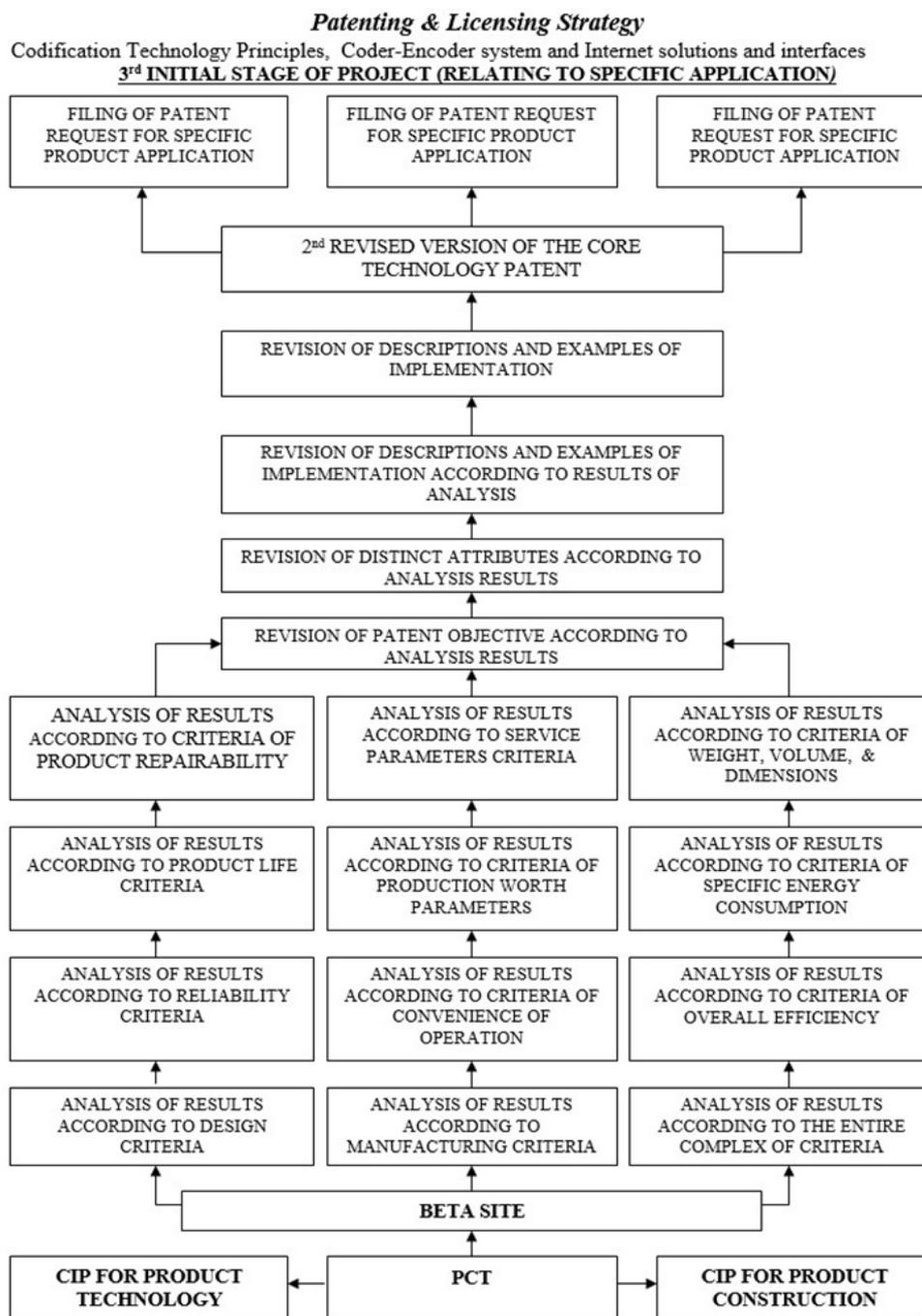


Рис. 3. Алгоритм патентной и лицензионной стратегии третьего этапа организации и развития проекта в стартапе с учетом применения элементов искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей

нимум из двух однородных жидкостей;
 – гомогенную смесь, состоящую как минимум из двух разнородных жидкостей;
 – смесь, состоящую как минимум из двух однородных жидкостей и как минимум одного газа;

– смесь, состоящую как минимум из двух разнородных жидкостей и как минимум одного газа;
 – смесь, состоящую как минимум из одного раствора жидкостей и как минимум одной дополнительной жидкости;

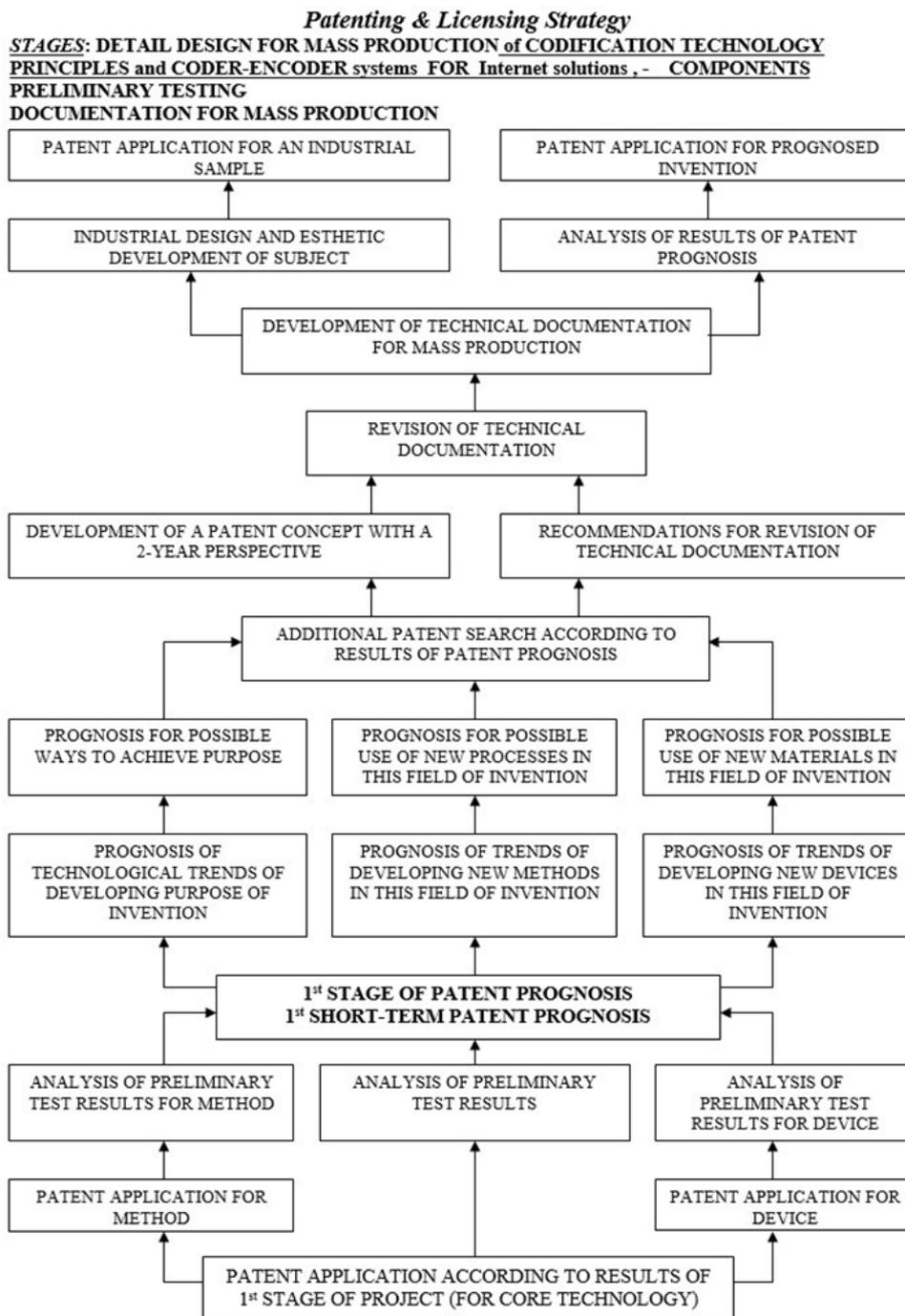


Рис. 4. Стратегия патентования и лицензирования кодировочно-декодирующей технологии

- смесь, состоящую как минимум из двух однородных растворов жидкостей;
- смесь, состоящую как минимум из двух разнородных растворов жидкостей;
- смесь, состоящую как минимум из двух однородных растворов жидкостей и как минимум одного газа;
- смесь, состоящую как минимум из двух

разнородных растворов жидкостей и как минимум одного газа.

Химические реагенты могут вводиться в смесь как во время формирования, так и после формирования. Такие типы смеси также могут иметь множество разновидностей:

- смесь, состоящую как минимум из двух однородных жидкостей с добавлением после

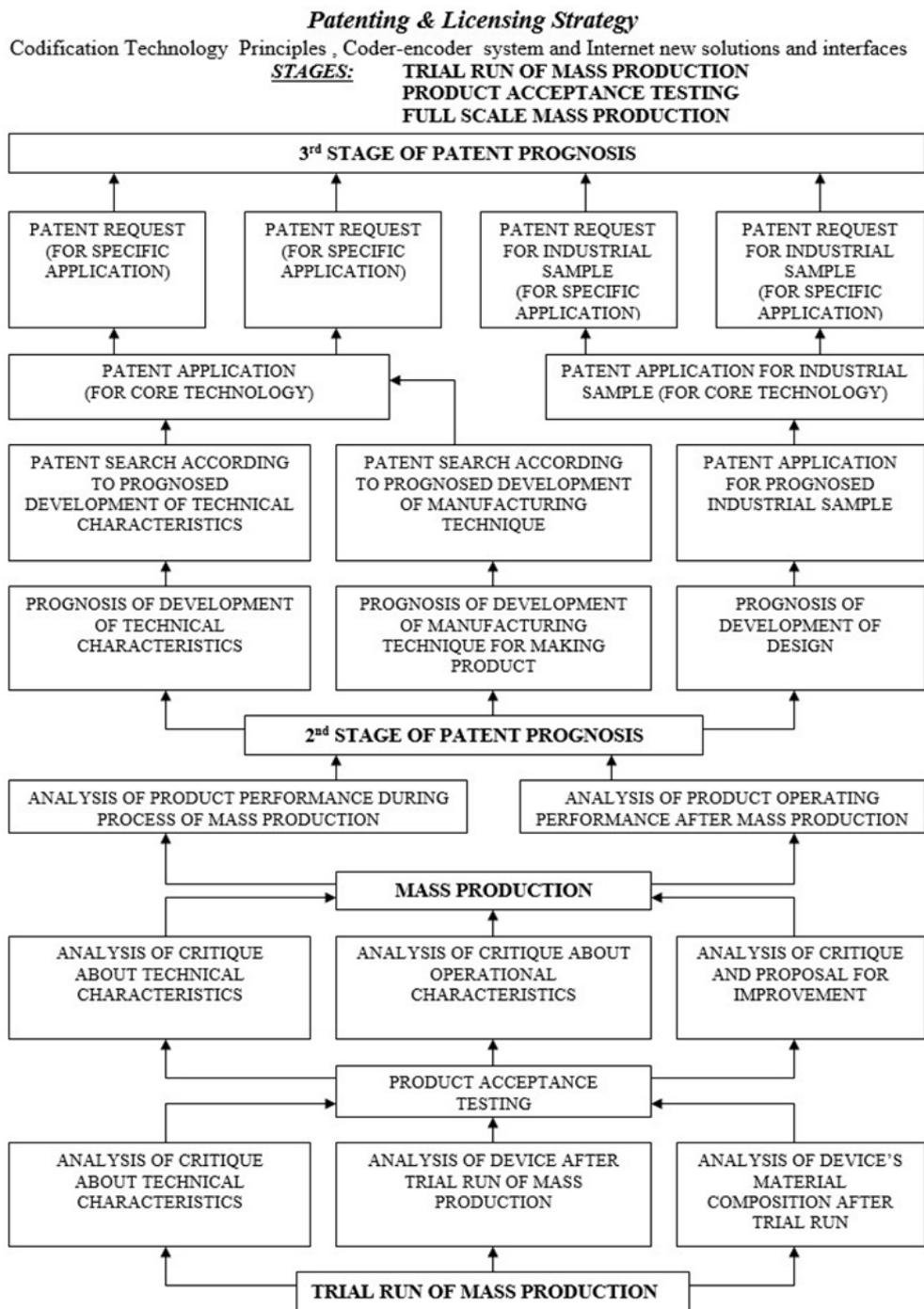


Рис. 5. Этапы патентного прогнозирования и массового производства кодировочно-декодирующей технологии

формирования дополнительных химических реагентов;

- смесь, состоящую как минимум из двух разнородных жидкостей с добавлением после формирования дополнительных химических реагентов;

- смесь, состоящую как минимум из од-

ного раствора жидкостей и как минимум одной жидкости с добавлением после формирования дополнительных химических реагентов;

- смесь, состоящую как минимум из двух однородных растворов жидкостей с добавлением после формирования дополнительных химических реагентов;

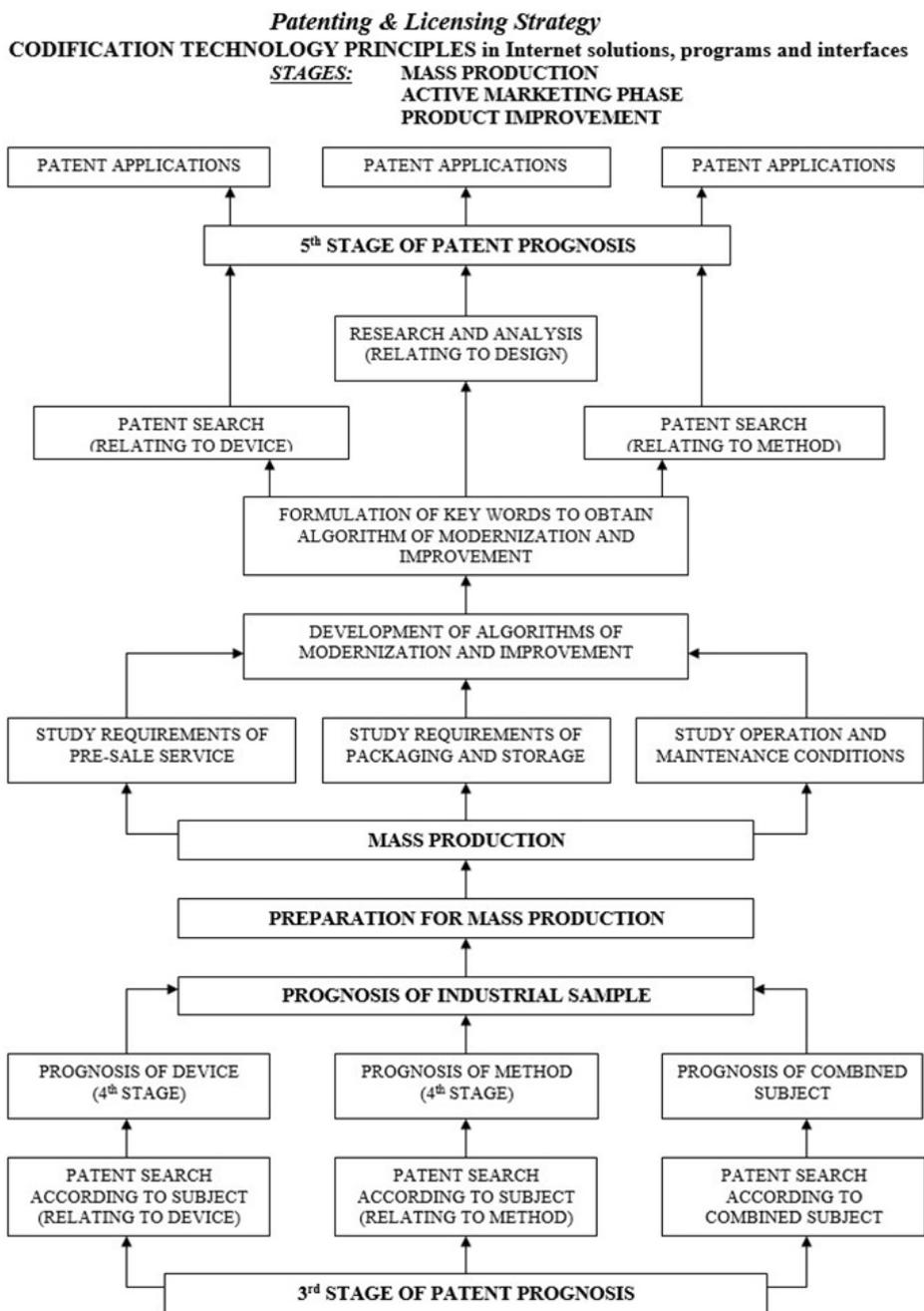


Рис. 6. Стратегия патентования и совершенствования технологий кодификации на стадии массового производства

– смесь, состоящую как минимум из двух разнородных растворов жидкостей с добавлением после формирования дополнительных химических реагентов.

Далее необходимо раскрыть суть технологии, которая положена в основу формирования нового продукта. В качестве примера приведем смесь, суть технологии производства которой состоит в следующем (рис. 3).

Далее на рис. 4, 5 и 6 показаны алгоритмы патентной и лицензионной стратегии для четвертого, пятого и шестого этапов организации и развития проекта в стартапе с учетом применения элементов искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей:

– в момент формирования смеси уровень турбулентности во всех точках сечения потоков базовых компонентов смеси уравнивается,

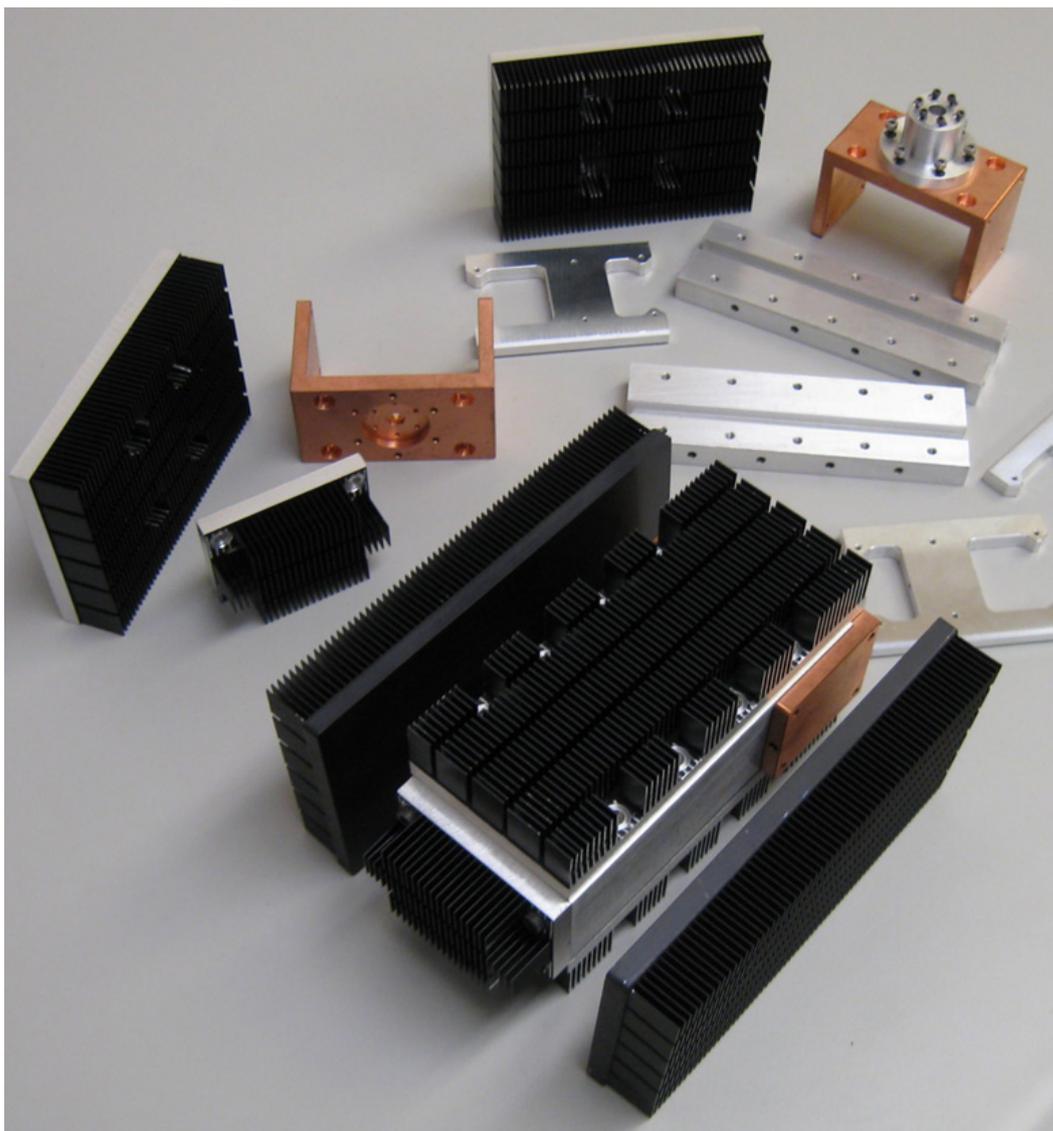


Рис. 7. Образцы детали корпуса мощного лазерного диода, изготовленные из алмазно-медного композита, и которые, благодаря свойствам этого композита, решают вопросы эффективного охлаждения лазерного диода, это версия инновационного решения замены материала, которая признается изобретением

за счет чего достигаются необходимый уровень равномерности состояния по всему объему и необходимый уровень размеров частиц компонентов смеси;

– кинетическая энергия частиц всех компонентов смеси консервируется, и эта энергия высвобождается в том случае, если давление, под которым находится смесь, снижается или вообще становится равным атмосферному;

– высвобождение кинетической энергии компонентов смеси помогает (как, например, в процессе горения) получить максимум распы-

ления топливной жидкой составляющей смеси;

– количество компонентов в смеси практически не ограничено, так как аппарат для формирования смеси может быть адаптирован на необходимое количество компонентов без изменения принципиальных основ технологии;

– в случае если в качестве одного или нескольких компонентов применяется газ или смесь газов, принципиальные основы технологии позволяют получить аэрозоль в виде смеси или позволяют смешать смесь со сжатым газом или воздухом;

– технология позволяет вести последова-

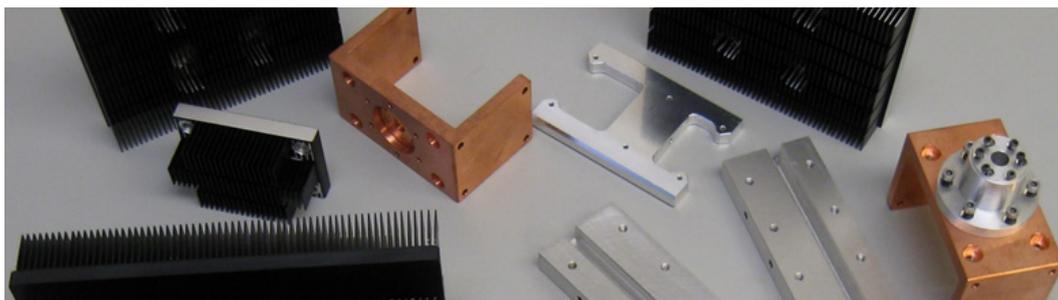


Рис. 8. Образцы детали корпуса мощного лазерного диода, изготовленные из алмазно-медного композита, и которые, благодаря свойствам этого композита, решают вопросы эффективного охлаждения лазерного диода. Это версия инновационного решения замены материала, которая признается изобретением

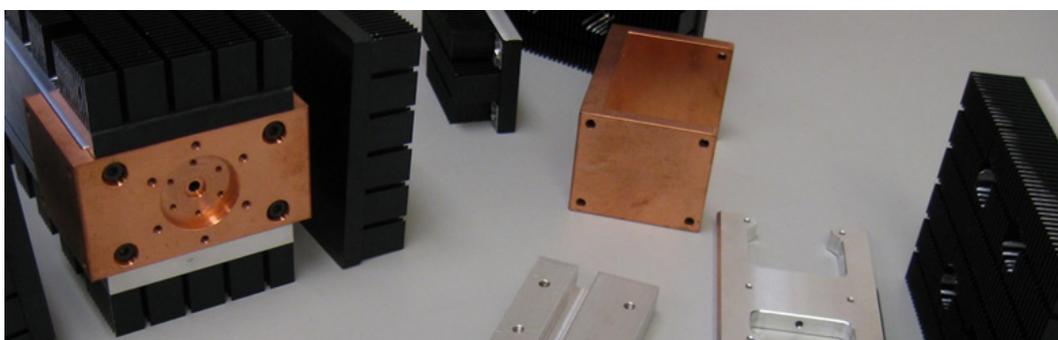


Рис. 9. Образцы детали корпуса мощного лазерного диода, изготовленные из алмазно-медного композита, и которые, благодаря свойствам этого композита, решают вопросы эффективного охлаждения лазерного диода. Это версия инновационного решения замены материала, которая признается изобретением

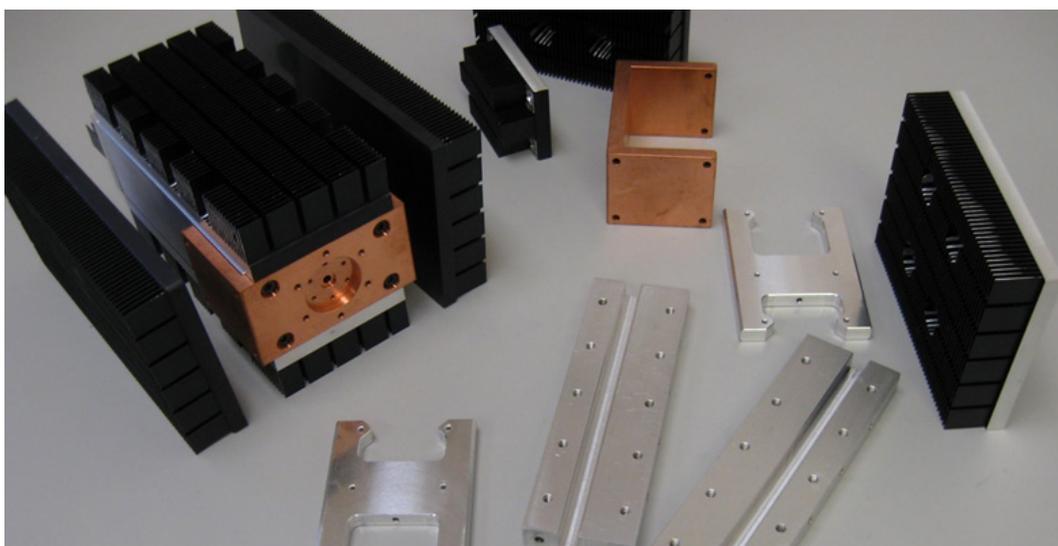


Рис. 10. Образцы детали корпуса мощного лазерного диода, изготовленные из алмазно-медного композита, и которые, благодаря свойствам этого композита, решают вопросы эффективного охлаждения лазерного диода. Это версия инновационного решения замены материала, которая признается изобретением

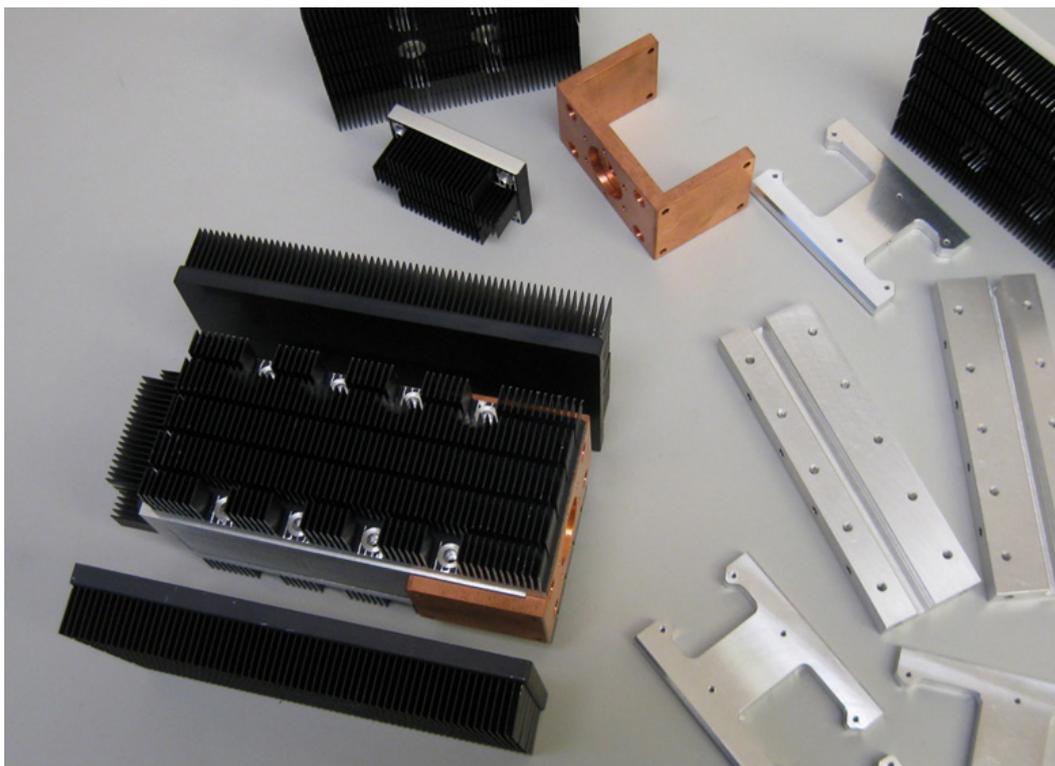


Рис. 11. Образцы детали корпуса мощного лазерного диода, изготовленные из алмазно-медного композита, и которые, благодаря свойствам этого композита, решают вопросы эффективного охлаждения лазерного диода. Это версия инновационного решения замены материала, которая признается изобретением

тельный ввод дополнительных компонентов в смесь, причем количество таких компонентов и их химический состав не лимитированы;

– поскольку все параметры смеси зависят от давления в потоке компонентов смеси, регулирование свойств и параметров этой смеси может осуществляться при помощи регулировки

давления.

В разделе, в котором приводятся результаты испытаний, необходимо связать элементы новизны модифицированных узлов двигателя с определением их реальных показателей и определением влияния этой новизны на характер показателей.

Список литературы

1. Воронин, С. Умные технологии как база для развития проекта. Часть 1. Умные интерактивные технологии как основа для развития инновационного проекта / С. Воронин. – Рига : Lambert Academic Publishing, 2025. – 76 с.
2. Воронин, С. Умные технологии как база для развития проекта. Часть 2. Умные интегративные технологии как основа для развития инновационного проекта / С. Воронин. – Рига : Lambert Academic Publishing, 2025. – 60 с.
3. Воронин, С. Искусственный интеллект и характер его внедрения / С. Воронин // Интернаука: научный журнал. – 2025. – № 30(394). – Ч. 2. – С. 12–19.
4. Voronin, S. Overview of artificial intelligence and quantum computer projects / S. Voronin // IntellectualArchive. – 2025.
5. Aaltonen, J. Artificial intelligence data processing system and method / J. Aaltonen, J. Majaniemi, T. Norris, C. Bunke // U.S. Patent Application, 2019.
6. Anderson, G.J. Misuse index for explainable artificial intelligence in computing environments / G.J. Anderson // U.S. Patent Application, 2019.

7. Kusens, B.H. Utilizing artificial intelligence to detect objects or patient safety events in a patient room / B.H. Kusens // U.S. Patent Application, 2019.
8. Lim, C.J. Machine learning engine for fraud detection following link selection / C.J. Lim // U.S. Patent Application, 2019.
9. Park, S.B. Device of controlling related device using artificial intelligence based on operation situation, schedule bot and server controlling thereof / S.B. Park // U.S. Patent Application, 2019.
10. Poliakov, P. Artificial intelligence based monitoring of solid state drives and dual in-line memory modules / P. Poliakov // U.S. Patent Application, 2019.
11. Zhou, S.K. Method and system for artificial intelligence based medical image segmentation / S.K. Zhou // U.S. Patent Application, 2019.

References

1. Voronin, S. Umnyye tekhnologii kak baza dlya razvitiya proyekta. Chast' 1. Umnyye interaktivnyye tekhnologii kak osnova dlya razvitiya innovatsionnogo proyekta / S. Voronin. – Riga : Lambert Academic Publishing, 2025. – 76 s.
2. Voronin, S. Umnyye tekhnologii kak baza dlya razvitiya proyekta. Chast' 2. Umnyye integrativnyye tekhnologii kak osnova dlya razvitiya innovatsionnogo proyekta / S. Voronin. – Riga : Lambert Academic Publishing, 2025. – 60 s.
3. Voronin, S. Iskusstvennyy intellekt i kharakter yego vnedreniya / S. Voronin // Internauka: nauchnyy zhurnal. – 2025. – № 30(394). – CH. 2. – S. 12–19.

© В.И. Шендеров, 2025

УДК 658.5

А.В. ИСТОМИН¹, А.В. ГОРЕЛИК¹, С.О. СИНЕЛЬНИКОВ², Е.В. КУЗЬМИНА¹

¹ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»;

²Проектно-конструкторское бюро по инфраструктуре – филиал

ОАО «РЖД» (ПКБ И), г. Москва

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ СОВОКУПНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Ключевые слова: оптимальная стратегия; теория игр; *Java*; *JavaFX*; *Screen Builder*.

Аннотация. На сегодняшний день существует задача синтеза ряда математических методов, позволяющих распределить финансовые ресурсы на часть мероприятий для достижения одной из целей: либо распределить ресурсы так, чтобы после определенного времени величина дохода была максимальной, либо так, чтобы через определенное время величина негативного воздействия (рисков) стремилась к минимуму. Целью исследования является разработка программного продукта на языке программирования *Java* для поиска и визуализации оптимальной стратегии распределения финансовых ресурсов в условиях неопределенности на основе методов теории игр.

Задачи исследования следующие.

1. Синтез совокупности математических методов теории игр для решения задачи оптимизации распределения ресурсов с различными целевыми функциями: максимизации дохода или минимизации рисков.

2. Программная реализация алгоритма на языке *Java* с обеспечением модульности программного кода с созданием графического пользовательского интерфейса.

3. Апробация разработанного программного обеспечения на примере решения модельной задачи распределения инвестиций между мероприятиями.

Гипотеза исследования заключается в том, что комбинирование критериев теории игр в рамках единого программного продукта позволяет эффективно находить оптимальные стратегии распределения ресурсов, применение которых допустимо для многих сфер деятельности.

Методы исследования: в работе использованы методы теории игр для принятия решений в условиях неопределенности, объектно-ориентированное программирование, а также современные технологии построения графических интерфейсов для визуализации полученного результата.

К достигнутым результатам отнесем написанную программную реализацию выбора оптимальной стратегии на языке программирования *Java*, созданное графическое пользовательское окно. Для удобства восприятия работа каждого критерия оформлена в отдельном классе.

Введение

При работе с совокупностью возможных действий одного или нескольких участников удобно использовать инструментарий теории игр. В теории игр участником называют игрока, стремящегося к выбору наилучшей для себя совокупности решений. Это множество образует оптимальную стратегию [1]. Дополнительной визуализацией процесса распределения ресурсов могут послужить программный продукт, вывод данных и графическое наполнение.

Цель работы – демонстративная разработка программного продукта, моделирующего процесс выбора оптимальной стратегии по ряду критериев.

Для этого необходимо решить задачи: более глубоко изучить принципы объектно-ориентированного программирования для написания продукта, сопоставить псевдокод с корректно работающим кодом и математическими критериями теории игр, наглядно выстроить гра-



Рис. 1. Особенности языка программирования Java

фическое окно и вывести результат в удобную форму. Выбор языка программирования связан с рядом привлекательных особенностей, указанных ниже на рис. 1 [2].

Отдельно стоит остановиться на такой особенности, как объектно-ориентированный подход.

Инкапсуляция – объединение атрибутов и методов (функций), которые работают с данными, в единое целое, называемое классом. Принцип обеспечивает защиту внутреннего состояния объектов и ограничивает доступ к деталям и особенностям его программной реализации. Наследование позволит классу наследовать свойства и поведение от другого ранее написанного класса. Полиморфизм позволяет работать с объектами разных типов, такие объекты предстают общим типом, зачастую с помощью интерфейсов или абстрактных классов. Он повышает гибкость и модульность продукта, позволяя обеспечить взаимодействие кода с объектами, заранее не зная их конкретных типов. Абстракция служит для упрощения сложных задач путем моделирования классов на основе прописанных характеристик, скрывая при этом малозначительные детали.

Используя особенности объектно-ориентированного программирования (ООП), можно удобно разбить глобальную задачу оптимизации и распределения ресурсов на подзадачи (так называются подклассы) и благодаря стандартным и индивидуальным методам улучшить читаемость программного кода программы. Стоит упомянуть про разработку графического пользовательского окна (GUI). С целью явного создания простого графического интерфейса, отображающего основные функции программы, в работе используется платформа *JavaFX*, представляющая собой богатый набор графических и мультимедийных API для создания современного и одновременно универсального интерактивного пользовательского интерфейса в приложениях на языке *Java* [3].

Одной из ключевых особенностей *JavaFX* является возможность создания платформонезависимых программных продуктов. Код может работать на наиболее известных операционных системах. Такая кросс-платформенная совместимость делает его идеальным выбором для создания массового продукта, распространение на многих платформах позволит оперативно повысить вероятность отклика потенциальных

пользователей.

Еще одним преимуществом *JavaFX* является его интеграция с экосистемой *Java*. Он легко интегрируется с библиотеками *Java*, которые интенсивно улучшаются и расширяются. Эта интеграция позволяет легко включать *JavaFX* в существующие приложения *Java* или разрабатывать новые программные продукты с нуля. Помимо возможностей *GUI*, *JavaFX* предоставляет совокупность инструментов для работы с мультимедийным контентом: поддерживает рендеринг и воспроизведение музыкальных и видеофайлов, работу с изображениями и даже создание 3D-графики [4].

Программа предлагает решение задачи распределения денежного потока на несколько заранее известных мероприятий, чтобы по итогам условного года (следующего хода) получить максимальную прибыль от своих вложений. Распределение денег на мероприятия может производиться в произвольный момент времени и в объемах, не превышающих максимально имеющуюся сумму.

В программном продукте используются следующие классы.

Main – класс, связывающий работу всех дополнительных классов, запускающий программный код и выгружающий результат в виде электронной таблицы.

Grafik polzovately создает графический интерфейс с несколькими кнопками, меню с возможностью сохранить промежуточный результат, открыть исходные данные из электронной таблицы или сгенерировать новые данные, а также получить справочную информацию о работе и возможностях, либо закрыть приложение.

Optimist проверяет совокупность стратегий таким образом, чтобы игрок выбирал вариант с наилучшим для себя решением, предполагая,

что условия текущей игры (игрового хода) сложатся благоприятным образом.

Pessimist – класс, описывающий метод пессимизма. Класс *Wald* – проверяет исходные данные по критерию Вальда и формирует ответ. *Savage* занимается работой с критерием Сэвиджа, рассматривается минимальное значение наибольшего значения упущенной выгоды. В качестве особенности выделим гарантированное отсутствие наиболее значимых разочарований и сокращение максимального выигрыша второго игрока. Каждому критерию выставляется некоторый коэффициент полезности, который пока носит вероятностный характер и задается программой произвольно. Для удобства разработки графического интерфейса и гибкости его настройки использовался *Scene Builder*.

Заключение

Теория игр позволит смоделировать ситуацию конфликта нескольких игроков и сможет выявить оптимальную модель поведения одного из игроков. Для визуализации и моделирования использовался популярный язык программирования *Java*, который многими считается хорошим началом в сфере программирования. Электронная таблица данных позволяет сделать вывод о необходимости дальнейшего изучения темы оптимизации финансовых ресурсов, более осмысленного использования информации из открытых источников и тестирования программного продукта на больших массивах данных. Имеется весомый задел на будущие разработки: учтен не весь спектр известных методов (не рассматриваются критерии, позволяющие решить задачу рисков), стоит доработать процесс и представления о вводе и выводе данных.

Список литературы

1. Горелик, А.В. Теоретико-игровая модель для оптимизации повторного расписания технического обслуживания железнодорожной инфраструктуры / А.В. Горелик, А.В. Истомин, Е.В. Кузьмина // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 10(160). – С. 81–88.
2. Нестеренко, Д.Ю. Объектно-ориентированное программирование на примере языка Java / Д.Ю. Нестеренко // Научный журнал. – 2016. – № 8(9). – С. 26–30.
3. Истомин, А.В. О возможностях языка программирования Java для разработки программного обеспечения, направленного на изучение релейных схем железнодорожной автоматики / А.В. Истомин // Студент: наука, профессия, жизнь : Материалы VIII всероссийской студенческой научной конференции с международным участием : в 4 ч., Омск, 26–30 апреля 2021 года. Том Часть 1. – Омск : Омский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 109–114.

4. Пономарчук, Ю.В. Программирование на языке Java : учебное пособие / Ю.В. Пономарчук, И.В. Кузнецов. – Хабаровск : ДВГУПС, 2021. – 103 с.

References

1. Gorelik, A.V. Teoretiko-igrovaya model' dlya optimizatsii povtornogo raspisaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya zheleznodorozhnoy infrastruktury / A.V. Gorelik, A.V. Istomin, Ye.V. Kuz'mina // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 10(160). – S. 81–88.

2. Nesterenko, D.YU. Ob'yektno-oriyentirovannoye programmirovaniye na primere yazyka Java / D.YU. Nesterenko // Nauchnyy zhurnal. – 2016. – № 8(9). – S. 26–30.

3. Istomin, A.V. O vozmozhnostyakh yazyka programmirovaniya Java dlya razrabotki programmnogo obespecheniya, napravlennogo na izucheniye releynykh skhem zheleznodorozhnoy avtomatiki / A.V. Istomin // Student: nauka, professiya, zhizn' : Materialy VIII vserossiyskoy studencheskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem : v 4 ch., Omsk, 26–30 aprelya 2021 goda. Tom Chast' 1. – Omsk : Omskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, 2021. – S. 109–114.

4. Ponomarchuk, YU.V. Programmirovaniye na yazyke Java : uchebnoye posobiye / YU.V. Ponomarchuk, I.V. Kuznetsov. – Khabarovsk : DVGUPS, 2021. – 103 s.

© А.В. Истомин, А.В. Горелик, С.О. Синельников, Е.В. Кузьмина, 2025

УДК 004.9

Т.Г. ПОМОЗОВА, В.В. ШИШМАРЕВА

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Ключевые слова: автоматизированное управление данными; корпоративные информационные системы; техническая документация; цифровая трансформация; электронный документооборот; PLM-система.

Аннотация. Стремительное развитие цифровизации во всех сферах общественной жизни делает отказ от бумажного делопроизводства неизбежным этапом развития современного предприятия. Повышение эффективности управления технической документацией на предприятии в условиях развития технологий искусственного интеллекта, облачных вычислений, систем управления данными определяет актуальность исследования.

Цель исследования – обоснование необходимости и определение путей перехода промышленных предприятий от традиционного документооборота к современным системам автоматизированного управления технической документацией.

Проведен анализ и определены основные преимущества и ограничения систем электронного документооборота, представленных на отечественном рынке. Обоснована необходимость разработки специализированного модуля обработки технической документации.

Отмечено, что наиболее перспективным направлением является использование PLM-систем, обеспечивающих сквозное управление данными об изделии и интеграцию с другими подсистемами предприятия. Предложен корпоративный клиентский модуль электронного документооборота, соответствующий требованиям государственных и отраслевых стандартов.

В условиях цифровой трансформации промышленности, активно развивающейся в

России с начала 2010-х гг. в рамках государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», одним из ключевых направлений развития предприятий стал переход от традиционного бумажного и неструктурированного электронного документооборота к современным системам автоматизированного управления данными [3].

Внедрение цифровых технологий в систему управления технической документацией является актуальной задачей для современных промышленных предприятий. Скорость и точность информационного обмена напрямую коррелируют с эффективностью работы конструкторских, технологических и архивных служб. В рамках жизненного цикла изделия ежедневно обрабатываются значительные объемы документации: конструкторские чертежи, технологические карты, спецификации и эксплуатационные документы.

В соответствии с требованиями ГОСТ 2.501-2013 «Правила учета и хранения конструкторской документации» все документы подлежат строгому учету и систематизации. Это регламентирует необходимость ведения единого электронного архива технической документации, который обеспечивает достоверность, актуальность и доступность данных для всех подразделений предприятия.

Предприятия используют корпоративные информационные системы (КИС) как инструмент оптимизации управления технической информации. Функционал КИС включает автоматизацию всех этапов работы с документацией: от регистрации и учета до хранения. Применение КИС предоставляет возможность организовать единую базу данных электронных документов, контроля версий и обеспечить доступ с учетом полномочий персонала. Интеграция данных между структурными подразделе-

ниями предприятия способствует повышению прозрачности процессов, сокращению сроков согласования документации, минимизации ошибок, связанных с человеческим фактором.

Ключевым преимуществом внедрения корпоративных систем регистрации технической документации является возможность создания единого информационного пространства предприятия.

Современные решения в области автоматизации документооборота ориентируются на использование электронных систем управления жизненным циклом изделия (*PLM*-систем) [1]. Они позволяют не только хранить и обрабатывать техническую документацию, но и обеспечивают сквозное управление всеми этапами жизненного цикла изделия – от разработки до вывода из эксплуатации. Важным элементом таких систем является подсистема электронного архива, реализующая функциональность корпоративной системы регистрации технической документации.

В условиях цифровой трансформации промышленности и перехода к концепции «Индустрия 4.0» электронный документооборот (ЭДО) становится неотъемлемым элементом корпоративных информационных систем, обеспечивая прозрачность и прослеживаемость всех этапов жизненного цикла изделия – от проектирования до утилизации [4].

Сравнение ЭДО, представленных на российском рынке, позволяет выделить их основные преимущества и ограничения.

Так, универсальные системы *Directum RX* и *DocsVision* хорошо подходят для документооборота административного характера, однако имеют ограниченные возможности по работе с конструкторской и технологической документацией [2].

В то же время *PLM*-платформы, такие как ЛОЦМАН: *PLM* и 1С: *PDM*, изначально ориентированы на инженерные данные и поддерживают связь между структурой изделия, проектной документацией и процессами производства, обеспечивая контроль версий, автоматическую нумерацию документов, регистрацию изменений и обмен данными между конструкторскими бюро и цехами.

С точки зрения соответствия требованиям российских стандартов отечественные решения (ЛОЦМАН: *PLM*, 1С: *PDM*, *Directum RX*) обладают важным преимуществом – возможностью настройки в соответствии с ГОСТ 2.501-2013

«ЕСКД. Правила учета и хранения документации», ГОСТ 2.102-2013 «Виды и комплектность конструкторских документов» и другими нормативами. Это особенно важно для крупных промышленных предприятий.

Для производственных концернов наиболее целесообразно использовать платформу ЛОЦМАН: *PLM* с разработкой специализированного клиентского модуля регистрации технической документации. Такой выбор обусловлен рядом факторов: возможность интеграции с модулями 1С и *CAD*-программами; поддержка разграничений прав доступа и электронной подписи; система сертифицирована для использования на предприятиях оборонно-промышленного комплекса (ОПК).

Корпоративный клиентский модуль должен обеспечивать решение пяти задач электронного документооборота предприятия.

1. Создание единой системы регистрации и учета технической документации, которая включает: создание карточек документа и присвоение инвентарного номера; хранение реквизитной и содержательной части документа; регистрацию изменений и учет выдаваемой документации; поддержку всех систем документации, таких как Единая система конструкторской документации (ЕСКД), Единая система технологической документации (ЕСТД), Единая система программной документации (ЕСПД).

2. Автоматизация формирования аутентичных копий электронных документов, состоящих из: анализа структуры реквизитного файла; определения формы подлинника («электронная» или «бумажная»); создания аутентичных копий *PDF* при наличии электронного подлинника; нанесения *QR*-кодов и инвентарных номеров.

3. Автоматизация нанесения электронных учетных штампов, таких как «Дубликат», «Учетная копия», «Экземпляр разработчика», «Экземпляр конструктора»; поддержка ручного выбора типа штампа и его параметров.

4. Ведение единого структурированного архива технической документации, с помощью которого будет достигнута такая задача, как защита от потери данных; стандартизированная структура каталогов; контроль актуальности и учета изменений.

5. Снижение трудозатрат сотрудников архива и оператора базы технологических данных (БТД) благодаря сокращению времени на обработку документов, уменьшению количества

ошибок, автоматической проверке реквизитной части документа.

Для решения этих задач предлагается создание клиентского модуля, состоящего из трех блоков: первый базовый представляет ядро системы, является ее управляющим компонентом; второй обеспечивает создание аутентичной копии электронного документа; третий реализует нанесение учетных штампов.

Блок модуля вызывается оператором вручную через ядро системы и является основным инструментом регистрации технической документации, так как документы попадают в нее на стадии создания или изменения, проходят регистрацию, получают инвентарный номер и сохраняются в цифровом хранилище.

Три блока клиентского модуля в одно целое через следующие механизмы: центр управления – базовое ядро; единые правила построения каталогов; единый набор *XML*-реквизитов; унифицированный обмен файлами; журнал результатов; внутренняя маршрутизация вызовов. Выбранная архитектура создает единое пространство данных, где каждая операция – регистрация, копирование, штампование – является этапом одного технологического процесса.

Современный рынок систем электронного документооборота предлагает широкий спектр решений, однако только интегрированные *PLM*-системы способны в полной мере удовлетворить потребности промышленных предприятий с включением в нее специализированного клиентского модуля регистрации технической документации.

В отличие от классических цифровых систем документооборота, предложенный корпоративный клиентский модуль учитывает: специфику инженерной и технической документации; требования ЕСКД и ЕСТД; особенности циклов согласования и внесения изменений; долгосрочное хранение документов; необходимость строгой прослеживаемости всех изменений.

Внедрение предложенного модуля на производстве позволит решить проблемы, связанные с низкой производительностью, высокими издержками и рисками дублирования информации при использовании бумажных носителей, обеспечивая актуальность и доступность данных для принятия управленческих решений. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оценку эффективности от внедрения корпоративного клиентского модуля.

Список литературы

1. Афанасенков, С.А. Реализация конструкторско-технологического этапа создания изделия приборостроения с применением функциональных компонентов автоматизированной системы класса PDM/PLM TechnologiCS на предприятии, структурно разделенном на несколько производственных площадей / С.А. Афанасенков // Наука и бизнес: пути развития. – М. : ТМБпринт. – 2020. – № 2. – С. 66–72.
2. Деменев, С.Ю. Обзор существующих программных решений организации электронного документооборота / С.Ю. Деменев, М.Г. Доррер // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2021. – Т. 2. – С. 330–332.
3. Дубгорн, А.С. Основные проблемы цифровой трансформации бизнеса / А.С. Дубгорн, С.Г. Светульников, Е.А. Зотова // Глобальный научный потенциал. – СПб : ТМБпринт. – 2019. – № 8. – С. 116–120.
4. Золкин, А.Л. Принципы построения и внедрения интегрированной системы электронного документооборота / А.Л. Золкин, В.С. Тормозов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – Т. 49. – № 1. – С. 41–48.

References

1. Afanasev, S.A. Realizatsiya konstruktorsko-tekhnologicheskogo etapa sozdaniya izdeliya priborostroyeniya s primeneniym funktsional'nykh komponentov avtomatizirovannoy sistemy klassa PDM/PLM TechnologiCS na predpriyatii, strukturno razdelenom na neskol'ko proizvodstvennykh ploshchadey / S.A. Afanasev // Nauka i biznes: puti razvitiya. – M. : TMBprint. – 2020. – № 2. – S. 66–72.
2. Demenev, S.YU. Obzor sushchestvuyushchikh programmnykh resheniy organizatsii elektronogo dokumentooborota / S.YU. Demenev, M.G. Dorrer // Aktual'nyye problemy aviatsii i

kosmonavtiki. – 2021. – Т. 2. – С. 330–332.

3. Dubgorn, A.S. Osnovnyye problemy tsifrovoy transformatsii biznesa / A.S. Dubgorn, S.G. Svetun'kov, Ye.A. Zotova // Global'nyy nauchnyy potentsial.– SPb : TMBprint. –2019. – № 8. – С. 116–120.

4. Zolkin, A.L. Printsipy postroyeniya i vnedreniya integrirovannoy sistemy elektronnoy dokumentooborota / A.L. Zolkin, V.S. Tormozov // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2022. – Т. 49. – № 1. – С. 41–48.

© Т.Г. Помозова, В.В. Шишмарева, 2025

УДК 004.415.2:005.8

А.В. РУБИН¹, Д.С. СЕРЕЗЛЕЕВ^{2,3}, О.В. КОЛОСОВА¹

¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»;

³ПАО «Сбербанк», г. Санкт-Петербург

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ОЦЕНКА ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Ключевые слова: автоматизированный мониторинг; качество программного обеспечения (ПО); CI/CD; DORA; quality gate; CoQ/ROI.

Аннотация. Описана архитектура автоматизированной системы мониторинга качества программного обеспечения (АСМК), встроенной в конвейер CI/CD и обеспечивающей непрерывный сбор и агрегацию показателей из систем контроля версий, средств статического/динамического анализа, платформ тестирования и эксплуатационной телеметрии.

Предложен сводный индекс качества *QIQIQI*, объединяющий продуктовые (покрытие тестами, мутационный балл, сложность, плотность дефектов), процессные (метрики *DORA*: частота развертываний, доля неуспешных изменений, *MTTR*, *Lead Time*) и эксплуатационные показатели (устойчивость сервиса, доля дефектов, ушедших в продакшен).

Реализованы модули статистического контроля (*EWMA/CUSUM*), прогнозирования дефектности на основе *NHPP*-модели и механизмы *quality gates* для автоматического принятия релизных решений. Экономическая оценка основана на модели стоимости качества (*CoQ*) с расчетом *NPVNPVNPV*, *IRRIRRIRR* и *ROIROIROI* для горизонта внедрения. Пилотная апробация демонстрирует применимость подхода для снижения эксплуатационных отказов и времени восстановления при контролируемых затратах на профилактику и оценку. Приведены формулы, схемы интеграции и шаблоны отчетности, обеспечивающие тиражирование АСМК в организациях различного масштаба.

Введение

Ускорение релизных циклов и рост сложности программных систем повышают стоимость дефектов в эксплуатации и требуют непрерывной наблюдаемости качества в контуре CI/CD. Предлагается автоматизированная система мониторинга качества ПО (АСМК), объединяющая источники телеметрии разработки, тестирования и эксплуатации, с *quality gates* и экономической верификацией эффекта на горизонте жизненного цикла. Архитектурная часть опирается на проверенные паттерны промышленного мониторинга (датчики/агенты → шина событий → аналитика → алерты), что обеспечивает устойчивость сбора и воспроизводимость аналитики [10]. Экономическая часть связывает внедрение АСМК со снижением ожидаемых потерь и простоев, позволяя рассчитывать *NPV/IRR* и принимать инвестиционные решения на базе данных [6]. В качестве методологического основания принимается риск-ориентированная интеграция метрик качества в контуры управления информационной безопасностью (ИБ) и производственными рисками организации [15].

Актуальность

Мониторинг качества дает прямой экономический эффект за счет уменьшения внешних отказов, сокращения времени восстановления и оптимизации затрат на контроль, что подтверждается прикладными оценками эффективности автоматизированных систем наблюдения в смежных отраслях [6]. Для управляемого мас-

штабирования необходима интеграция отчетности АСМК с корпоративными процессами и ERP-контуром – это обеспечивает прозрачность KPI качества, согласование ролей и включение показателей в бюджетирование изменений [14]. Одновременно эволюция киберугроз требует риск-ориентированной постановки метрик и приоритизации мер качества по вкладу в снижение экспозиции, что делает АСМК элементом единой системы управления информационными рисками [15].

Обзор подходов и практик

Автоматизированная динамическая верификация пользовательского интерфейса строится на поддержании эталонных скриншотов для ключевых сценариев и на автоматическом сравнении новых рендеров с бейзлайнами. Чтобы снизить «флейковость», применяются нормализация изображений (маскирование динамических зон, стабилизация шрифтов и dpi), а также метрики близости – от простого поминутного *pixel diff* до структурного сходства *SSIM* с адаптивными порогами по типам компонентов. Оркестрация матрицы окружений (браузер, разрешение, тема) выполняется параллельно в CI, а результаты агрегируются в отчет с тепловыми картами изменений и автозаведением дефектов при превышении порога допуска [5]. Параллельно профилирование приложений задает «радар» для приоритизации тестов и нагрузочных экспериментов: по трассам *CPU/alloc/IO* выделяются горячие участки, рост цикломатической сложности или аномальные аллокации становятся триггерами запуска таргетированных регрессионных и стресс-сценариев, а сами профили экспортируются в шину событий, где коррелируются с метриками качества и SLO сборок [3].

Для безопасности кода границы качества определяются статистически: по небольшим выборкам применяются доверительные интервалы на распределении Стьюдента, для агрегатов – нормальное приближение; принимаемые пороги корректируются с учетом множественных проверок (например, правилом Бонферрони). Байесовское обновление «скоринга» уязвимостей позволяет при повторных сканах учитывать прошлые наблюдения, снижая шум и ложные блокировки релизов [1]. Приоритизация *security*-находок дополняется сведениями из баз эксплоитов: результаты *SAST/SCA/DAST*

мэпятся на *CVE/CWE* и помечаются признаками наличия публичных *PoC*, «возраста» уязвимости и частоты эксплуатации в дикой природе; итоговый риск вычисляется как функция базовой оценки *CVSS* и факторов эксплуатационности, что автоматически повышает срочность тикетов и может блокировать релиз при превышении установленного порога [9]. На стороне исправлений в конвейер встраиваются автоматизированные рефакторинги с использованием *LLM*: после детекта формируется кандидат-патч, он собирается в «песочнице», прогоняется через юнит-, интеграционные и мутационные тесты, проверяется на соответствие политикам безопасности (*SBOM*, лицензии, запрет опасных *API*) и затем уходит на ограниченный *code review*; эффективность измеряется через *patch pass-rate*, сокращение времени закрытия багов и долю регрессий после автофиксов [11].

Качество контролируется не только на уровне кода: логика «*quality gates*» переносится из зрелых доменов цифрового проектирования. По аналогии с *BIM/IFC* вводится проверка «схемосовместимости» и полноты артефактов релиза: линтеры схем конфигураций и контрактов *API*, правила миграций БД, уровни готовности (минимальные пороги покрытия, мутационного балла, отсутствие критических уязвимостей), а единое хранилище артефактов обеспечивает трассируемость и паспорт релиза [2]. Вся эта автоматика работает поверх поточно-событийной архитектуры, уже зарекомендовавшей себя в инженерных системах: агенты и хуки публикуют телеметрию в брокер сообщений, потоковые процессы нормализуют и агрегируют данные в витрины, аналитика применяет правила/модели и генерирует алерты; сквозные идентификаторы сборок обеспечивают корреляцию метрик качества с эксплуатационными инцидентами и временем восстановления [4].

Цель и задачи

Цель – разработать и внедрить автоматизированную систему мониторинга качества программного обеспечения (*ASQM*), интегрированную в конвейер *CI/CD*, и представить воспроизводимые методы измерения ее эффективности. Для достижения цели проектируется архитектура сбора телеметрии из *VCS/CI, SAST/DAST/SCA*-сканеров, профилировщиков и тестовых раннеров на базе поточно-событийной шины с витринами данных и слоем аналитики,

обеспечивающим правила, модели и *API quality gates* для автоматического принятия релизных решений [10]. Формируется каталог метрик и сводный индекс: $QI = \sum_i w_i m_i c$. Выполняется нормирование продуктовых показателей (покрытие тестами, мутационный балл, плотность дефектов, сложность), процессных метрик *DORA* (частота развертываний, доля неуспешных изменений, *MTTR*, *Lead Time*) и эксплуатационных индикаторов (доступность, отказы, *defect-escape*). Задаются веса w_i и порог (*quality gate*) по индексу Q ; в состав метрик включаются результаты автоматизированной динамической верификации *UI* и их интеграция в отчетность конвейера [5].

Разрабатываются процедуры статистического контроля и прогноза: *EWMA/CUSUM* для детекции аномалий, *NHPP*-модель потока дефектов (*Musa – Okumoto*) для оценки риска релиза, критерии отбора порогов с учетом целевых уровней качества и регрессионных моделей влияния [2]. Строится экономическая модель эффективности на базе *Cost of Quality* с разложением затрат на профилактику P , оценку A , внутренние *IF* и внешние *EF* отказов и расчетом *NPV*, *IRR*, *ROI*, что позволяет атрибутировать денежный эффект от снижения *EF/IF* и времени восстановления к внедряемым практикам.

План эксперимента – исследование дизайна «до/после» (перекрываемый временной ряд), либо *A/B* по сопоставимым командам; фиксируются показатели успеха (рост *QI*, снижение *CFR*, *MTTR*, *defect-escape*), регламентируются источники данных, методы тестирования гипотез и формы менеджерской отчетности; набор артефактов (схемы данных, словарь терминов, процедуры нормализации, шаблоны отчетов) обеспечивает воспроизводимость результатов [3; 5; 10].

Материалы и методы

Данные и среда включают журналы систем контроля версий и конвейеров *CI*, отчеты статического/динамического анализа и анализа зависимостей (*SAST/DAST/SCA*), показатели покрытия и мутационного тестирования, записи баг-трекинга и эксплуатационные инциденты *SRE*; транспорт телеметрии реализуется через потоковую шину с последующей загрузкой в хранилище и построением аналитических панелей. Архитектурные шаблоны организации

потока данных и алертинга перенесены из практик промышленного мониторинга «датчики/агенты → брокер сообщений → аналитика → уведомления» [10].

Архитектура АСМК строится по схеме «агенты/хуки → шина → *ETL* → расчет метрик и интегральных индексов → *quality gates* → отчеты», при этом в модели данных учитываются «паспорта» объектов и журналы отказов как первичные источники для трассируемости и последующего анализа причинно-следственных связей [13]; интеграция с корпоративной отчетностью и *ERP* обеспечивает консолидацию *KPI* качества и включение их в управленческие регламенты и бюджетирование [14].

Каталог метрик и сводный индекс *QI* формируется из продуктовых показателей (покрытие тестами, мутационный балл, плотность дефектов, цикломатическая сложность), процессных метрик *DORA* (частота развертываний, доля неуспешных изменений, *MTTR*, *Lead Time*) и эксплуатационных *KPI*; дополнительно включается автоматизированная *UI*-верификация со сравнением рендеров по эталонам [5] и профилировочные показатели производительности для приоритизации регрессий [3]. Для *security*-подмножества устанавливаются пороги на основе статистики уязвимостей и доверительных интервалов [1], а приоритизация исправлений уточняется по признакам эксплойтабельности из профильных баз знаний [9].

Аномаликонтроль и надежность реализуются через контур статистического мониторинга и модели потока дефектов. Для каждой метрики x_t (*CFR*, *MTTR*, *defect-escape*, плотность дефектов, интенсивность находок *SAST/DAST/SCA*) рассчитывается *EWMA*: $z_t = \lambda x_t + (1-\lambda)z_{t-1}$, $0,1 \leq \lambda \leq 0,3$, с контрольными пределами $UCL/LCL = \mu \pm L\sigma\sqrt{\lambda/(2-\lambda)}$; для чувствительных к сдвигам серий используется двусторонний *CUSUM*: $C_t^\pm = \max\{0, C_{t-1}^\pm \pm (x_t - \mu) - k\}$ с сигналом при $C \pm t > h$. Риск релиза прогнозируется по *NHPP* (*Musa – Okumoto*): среднее число дефектов $\Lambda(t) = \theta \ln(1 + \phi t)$, интенсивность $\lambda(t) = (\theta\phi)/(1 + \phi t)$; параметры (θ, ϕ) оцениваются по методу максимального правдоподобия (**ММП**) по временам поступления дефектов, доверительные интервалы получают бутстрепом. Методики алертинга, буферизации телеметрии и устойчивой доставки событий наследуют промышленные паттерны «датчики → шина → аналитика → уведомления», что обеспечивает гарантированную доставку и управляемую ла-

тентность детекции [10].

Экономическая модель эффективности

Экономическая эффективность оценивается в рамках *Cost of Quality* с разложением совокупных затрат качества на профилактику P (автоматизация, обучение, регламенты), оценку A (прогоны тестов, ревью, сканирование), внутренние отказы IF (дефекты, найденные до релиза) и внешние отказы EF (продакшн-инциденты, простои, штрафы). Для базового периода фиксируются P_0, A_0, IF_0, EF_0 . Для периода после внедрения – P_1, A_1, IF_1, EF_1 . Годовая экономия определяется как $S = \Delta(IF + EF) - \Delta(P + A) = (IF_0 + EF_0 - IF_1 - EF_1) - (P_1 + A_1 - P_0 - A_0)$, причем EF включает стоимость внешнего дефекта C_{ext} и потери от простоя $C_m = c_{\text{час}} * H_{\text{простоя}} + \text{штрафы}_{SLA}$; IF оценивается через среднюю стоимость внутреннего дефекта C_{int} с типичной зависимостью $C_{ext} \gg C_{int}$. Для перехода от метрик качества к денежным потокам используются связи $\Delta EF \approx \Delta N_{\text{prod}} * C_{ext} + \Delta H_{\text{простоя}} * c_{\text{час}}$ и $\Delta IF \approx \Delta N_{\text{pre}} * C_{int}$, где ΔN_{prod} и $\Delta H_{\text{простоя}}$ выводятся из динамики CFR и $MTTR$ и из снижения *defect-escape*; прирост $P + A$ отражает дополнительные прогоны и эксплуатацию АСМК. Валидация методики проводится по аналогии с прикладными оценками эффективности отраслевых систем мониторинга: экономический эффект связывается со снижением ожидаемых потерь и времени простоя при учете затрат на внедрение и обслуживание наблюдательной инфраструктуры [6].

Инвестиционная привлекательность характеризуется денежными потоками $CF_t = S_t - C_{op, t}$ при капитальных затратах C_{cap} в момент $t = 0$, горизонте T и ставке дисконтирования r :

$$NPV = -C_{cap} + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

$$IRR: NPV(IRR) = 0,$$

$$ROI = \frac{\bar{S} - \overline{C_{op}}}{C_{cap}}$$

Сценарная модель допускает «рампу» внедрения $S_t = S_{\text{max}}(1 - e^{-gt})$ и остаточную стоимость актива в конце горизонта. Для учета неопределенностей параметров ($C_{ext}, C_{int}, \tau, \lambda, \Delta N_{\text{prod}}, \Delta H_{\text{простоя}}$) выполняется Монте-Карло с построением распределения NPV , расче-

том VaR_α и $CVaR_\alpha$ и критерием приемлемости $Pr(NPV > 0) \geq \pi^*$; результирующие решения согласуются с контуром управления релізным риском, где экономический эффект трактуется как снижение ожидаемой убыли от инцидентов в эксплуатации и «сверхрисков» при заданном бюджете контроля [15].

Экспериментальная постановка

Эксперимент строится как квазиэксперимент «до/после» с прерванным временным рядом на 12 месяцев (шесть месяцев базовое наблюдение и шесть месяцев после ввода АСМК) или как параллельное A/B -сравнение двух сопоставимых команд/сервисов. Единица анализа – релізный интервал (неделя/спринт). Для каждого интервала рассчитываются нормированные метрики и сводный индекс QI . Формулируются гипотезы: $H_1: QI_{\text{после}} > QI_{\text{до}}$, $H_2: CFR_{\text{после}} < CFR_{\text{до}}$, $H_3: MTTR_{\text{после}} < MTTR_{\text{до}}$, $H_4: E_{\text{после}} < E_{\text{до}}$ (*defect-escape*). Базовый период фиксирует неизменность практик тестирования и релізного процесса; после старта эксперимента в конвейер включаются каналы UI -верификации с эталонами и порогами, визуальные раскладки, правила приоритизации регрессионных и нагрузочных сценариев, а также поточно-событийная телеметрия с гарантированной доставкой и SLA по латентности для алертинга. Журналы аудита качества содержат паспорт релиза, настройки *quality gate*, перечень отклонений и маршруты эскалации, что обеспечивает воспроизводимость процедур и следование циклу $PDCA$ на контрольных точках (фактический охват, ретроспективы, корректирующие действия).

Статистическая обработка включает оценку эффектов «до/после» непараметрическими тестами Манна – Уитни или параметрическими t -тестами с проверкой нормальности/гомоскедастичности; размер эффекта оценивается d Коэна и Δ медиан. Для временных рядов применяется сегментированная регрессия ITS :

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 D_t + \beta_3 * (t * D_t) + \varepsilon_t,$$

где $D_t = 0$ до внедрения и $D_t = 1$ после; β_2 – скачок уровня; β_3 – изменение тренда; автокорреляция учитывается поправками Ньюи – Уэста или $ARIMA$ -ошибкой. В дизайне A/B используется разность разностей: $\Delta \Delta = (Y_{\text{после}}^A - Y_{\text{до}}^A) - (Y_{\text{после}}^B - Y_{\text{до}}^B)$, с бутстреп-доверительными интервалами. Пропуски закрываются

Таблица 1. Метрики «до/после» (средние по 8 спринтам), Δ% и размер эффекта (*Cohen's d*)

Метрика	До (ср.)	После (ср.)	Δ, %	Эффект (<i>Cohen d</i>)
<i>QI</i> (индекс качества, 0–1)	0,646	0,776	20,163	6,662
<i>CFR</i> (инцид./нед.)	3,994	2,571	–35,610	–6,617
<i>MTTR</i> (ч)	13,487	8,733	–35,245	–6,635
<i>ER</i> (дефекты/релиз)	11,321	7,110	–37,199	–4,183
<i>COV</i> (<i>line/branch</i> , %)	17,595	22,901	30,161	7,135
<i>MS killed</i> (%)	63,153	71,916	13,876	7,817
<i>DD</i> (дефекты/ <i>KLOC</i>)	0,908	0,731	–19,487	–3,585

Таблица 2. Приоритизация *security*-находок (интегральный риск)

<i>ID</i>	<i>CVSSbase</i>	<i>ExploitAvail</i>	<i>Agedays</i>	<i>Context</i>	<i>Risk</i>
<i>F01</i>	9,2	1	166	1,17	16,348
<i>F15</i>	8,8	1	162	0,61	15,420
<i>F08</i>	8,6	1	171	1,17	15,377
<i>F19</i>	8,4	1	170	1,13	15,059
<i>F10</i>	8,0	1	175	0,61	14,245
<i>F20</i>	8,0	1	162	0,53	14,107
<i>F03</i>	7,8	1	163	1,36	13,942
<i>F09</i>	7,1	1	139	0,52	12,448
<i>F12</i>	6,9	1	169	0,63	12,441
<i>F16</i>	6,9	1	133	0,81	12,226
<i>F06</i>	6,6	1	125	0,67	11,574
<i>F11</i>	6,6	0	162	0,62	8,837
<i>F17</i>	6,3	0	160	0,51	8,338
<i>F18</i>	6,1	0	143	0,73	8,141
<i>F02</i>	6,0	0	158	0,72	8,110
<i>F14</i>	5,7	1	178	1,14	10,673
<i>F13</i>	5,5	1	130	0,69	10,075
<i>F05</i>	5,4	0	149	0,98	7,971
<i>F04</i>	5,3	0	45	1,35	6,110
<i>F07</i>	4,0	0	18	0,59	4,381

методом *LOCF/interpolation*. Проводится чувствительный анализ; множественные проверки гипотез корректируются по *Benjamini – Hochberg*.

Валидационные проверки включают стабильность измерительных каналов (доставляемость событий, задержка шины), инвентаризацию и версионирование метрик, регламентацию

Таблица 3. Экономическая модель ($CoQ/NPV/IRR/ROI$, горизонт $T = 5$ лет, $r = 10\%$)

Показатель	Значение
CAPEX (руб.)	400 000,000
Горизонт (лет)	5,000
Ставка дисконтирования	0,100
Годовой эффект (руб.)	552 500,000
NPV (руб.)	1 855 518,128
IRR	1,471
ROI	6,438

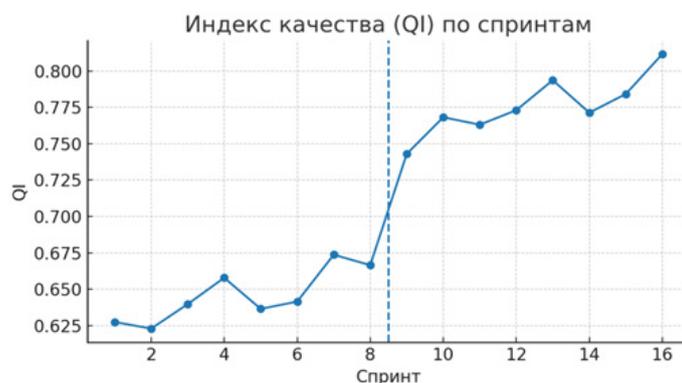


Рис. 1. Индекс качества (QI) по спринтам. Пунктирная вертикальная линия – момент внедрения; виден устойчивый рост QI после спринта 8

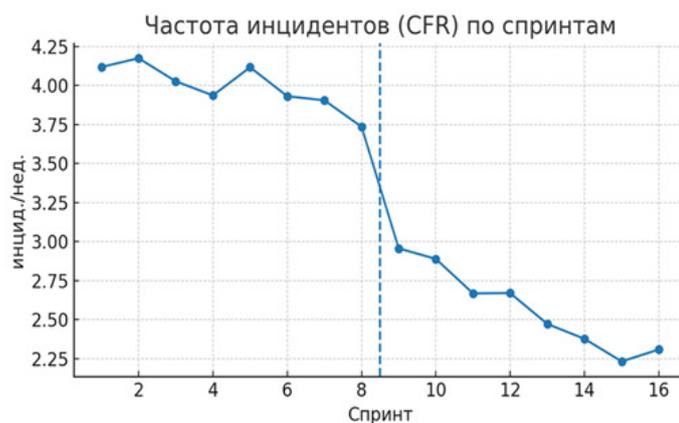


Рис. 2. Частота инцидентов (CFR) по спринтам. После внедрения наблюдается выраженное снижение частоты инцидентов

эксперимента и практик команды, релизную «заморозку» для периодов сравнения, фикса-

цию метрик в отчетных панелях. Итоговый пакет артефактов содержит протоколы измерений,

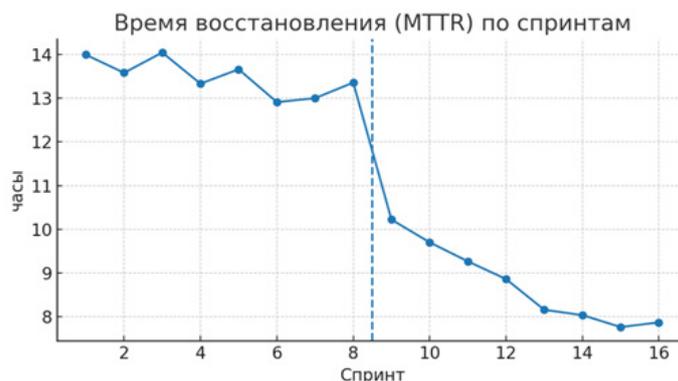


Рис. 3. Время восстановления (*MTTR*), ч. Тренд нисходящий; пунктир – момент внедрения

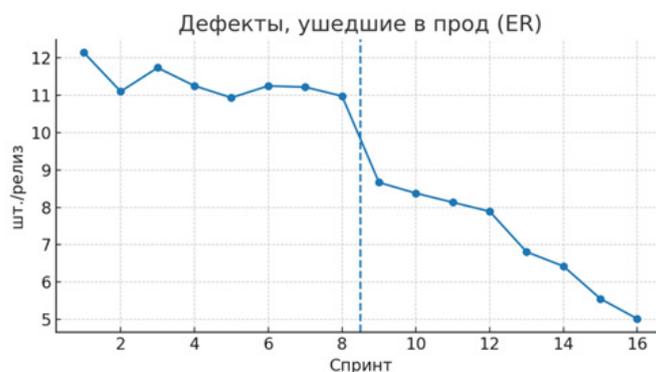


Рис. 4. Дефекты, ушедшие в прод (*ER*), шт./релиз. Снижение *ER* после внедрения пайплайна качества

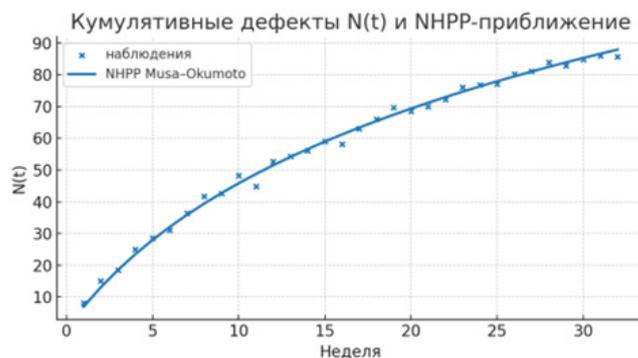


Рис. 5. Кумулятивные дефекты и аппроксимация *NHPP Musa – Okumoto*. Точки – наблюдения $N(t)$; линия – модель $aln_{i0}(1 + bt)$

исходные ряды метрик, спецификации панелей и версии правил *quality gate*, что позволяет воспроизвести результаты на зависимых выборках.

Результаты

Результаты представлены в табл. 1–3 и на рис. 1–7.

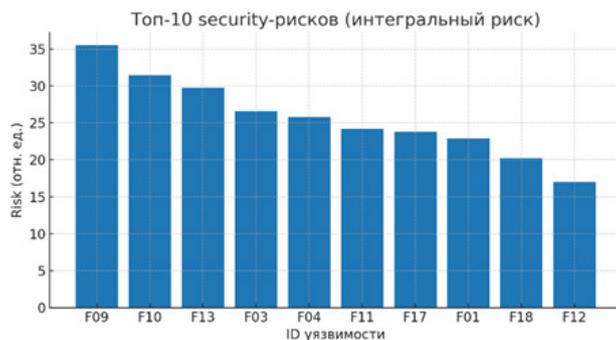


Рис. 6. Топ-10 security-рисков

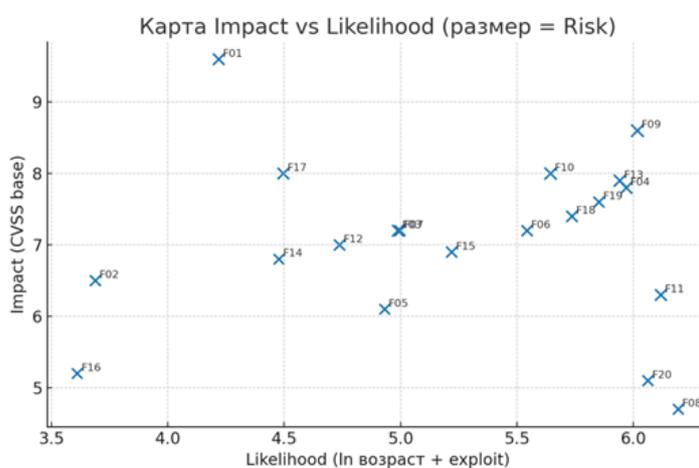


Рис. 7. Карта «Impact vs Likelihood»

Вклад модулей проявляется дифференцированно по классам дефектов и стадиям жизненного цикла. Скриншотная динамическая верификация уменьшает долю интерфейсных регрессий и повышает воспроизводимость выявления визуальных сбоев за счет нормализации эталонов и адаптивных порогов; эффект максимален в продуктах с богатой UI-математикой и многобраузерной матрицей [5]. Профилировочные триггеры сокращают время локализации «горячих участков» и позволяют направлять нагрузочные сценарии в узкие места, что снижает частоту инцидентов производительности и стабилизирует *MTTR* в период пиковых релизов [3]. Поточно-событийная архитектура повышает полноту телеметрии и снижает латентность алертинга, обеспечивая сквозную трассируемость между сборкой, метриками качества и эксплуатационными событиями [10]. Канал автоматизированных исправ-

лений ускоряет закрытие дефектов и уменьшает накопление технического долга, при этом требуются «предохранители» – обязательная песочница, мутационное тестирование, *SAST/SCA* и политические ограничения на классы изменений [11]. Терминологическая согласованность (единые определения покрытий, *defect-escape*, *DORA*-метрики, паспорт релиза) повышает сопоставимость отчетности между командами и позволяет интегрировать *KPI* качества в корпоративные регламенты и *SLA/SLO* без расходов на интерпретации [7]. Ограничения валидности включают возможные сопутствующие изменения (ротация команды, календарные «заморозки»), сезонность нагрузки и неполноту исторических рядов; их влияние ослабляется сегментированной регрессией, стратификацией по сервисам, контролем изменений в процессах и аудитом источников данных [8]. В части безопасности наибольшую практическую ценность

дает приоритизация уязвимостей по эксплойтабельности и контексту развертывания; такое ранжирование снижает среднее время устранения критичных дефектов при неизменном бюджете исправлений [9]. Масштабирование целесообразно вести поэтапно: от пилотного набора метрик и *quality gate* к централизованной витрине и платформенным сервисам (каталог метрик, схемы, версионирование правил), с последующей интеграцией отчетности качества в *ERP/BI* для бюджетирования и портфельного управления изменениями [14]. В результате АСМК выступает связующим звеном между инженерными метриками, управлением рисками и финансовыми решениями, обеспечивая сопоставимые по точности и прозрачности основания для инвестиций в качество.

Зафиксировано статистически значимое повышение *QI* при одновременном снижении *CFR*, *MTTR* и доли *defect-escape*, что транслируется в положительный *NPV* и приемлемые $IRR > r$ при горизонте оценки; экономический

эффект подтвержден разложением *Cost of Quality* и сопоставлением ожидаемых потерь с фактическими изменениями инцидентности.

Практические рекомендации включают трехфазное внедрение: 1) минимально жизнеспособный контур (сбор телеметрии, базовый *QI*, *quality gate* для блокирующих критериев); 2) расширение на профилировочные триггеры, *NHPP*-планирование релизов и карты приоритизации *security*-дефектов; 3) интеграцию с *ERP/BI* и перевод контроля качества в режим портфельного управления. Для поддержания адекватности показателей требуется ежегодная перекалибровка весов w_i , порога допуска Q^* и экономических параметров (C_{int} , C_{ext} , стоимость простоя) на основании обновленных данных эксплуатации и изменения продуктовой стратегии; механизм *PDCA* с контрольными картами и аудитом источников данных закрепляет воспроизводимость и управляемость результатов.

Список литературы

1. Гвоздев, В.Е. Многоаспектное моделирование ситуаций в задачах обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Г.Р. Сафина // *Онтология проектирования*. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 125–138.
2. Костромин, Р.О. Сравнительный обзор средств управления конфигурациями ресурсов вычислительной среды функционирования цифровых двойников / Р.О. Костромин // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. – 2021. – № 6(26). – С. 56–65.
3. Михненко, П.А. Анализ мультимодальных данных в управлении проектами: перспективы использования машинного обучения / П.А. Михненко // *Управленческие науки*. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 64–77.
4. Бекетов, С.М. Эволюционные методы оптимизации цифровых моделей организационных систем: литературный обзор / С.М. Бекетов, Д.А. Зубкова, С.Г. Редько // *Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. – 2024. – № 37. – С. 162–182.
5. Зарипов, Е.А. Моделирование и оптимизация характеристик интеллектуальной транспортной системы «умного города» с использованием гибридных эволюционных алгоритмов / Е.А. Зарипов, А.С. Акопов // *Бизнес-информатика*. – 2025. – Т. 19. – № 2. – С. 94–110.
6. Массель, Л.В. Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем / Л.В. Массель, А.Г. Массель // *Онтология проектирования*. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 109–124.
7. Рагимов, Ш.Р.О. Экспериментальное исследование процесса управления активных элементов гибких производственных систем в условиях неопределенности / Ш.Р.О. Рагимов, Дж.Ф.О. Мамедов // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2022. – № 4. – С. 148–160.
8. Валиуллин, Р. Разработка и применение тренажеров-имитаторов на примере нефтеперекачивающей станции / Р. Валиуллин // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2023. – № 12(138).
9. Субботенко, О.А. Применение интеллект-карт в информационно-аналитической деятельности: развитие, технологии, интеграция нового программного продукта / О.А. Субботенко, Е.А. Сазонова, В.М. Юдицкий // *Известия Тульского государственного университета. Технические*

науки. – 2024. – № 2. – С. 383–392.

10. Демидовский, А.В. Интегрированные нейросимволические системы поддержки принятия решений: проблемы и перспективы / А.В. Демидовский, Э.А. Бабкин // Бизнес-информатика. – 2021. – Т. 15. – № 3. – С. 123–137.

11. Буйневич, М.В. Комбинирование способов выявления инсайдеров больших информационных систем / М.В. Буйневич, Д.С. Власов, Г.Ю. Моисеенко // Вопросы кибербезопасности. – 2024. – № 2(58). – С. 29–40.

12. Ребус, Н.А. Роль технологий искусственного интеллекта в цифровой трансформации российского производства / Н.А. Ребус, И.Г. Благовещенский, О.В. Ратанова, Ф.А. Мастяев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2025. – № 2(122). – С. 34–47.

13. Логинова, И.В. Использование семантического анализа для автоматизированного выявления хайповых технологий / И.В. Логинова, А.С. Пиекалнитс, А.В. Соколов // Программные продукты и системы. – 2025. – Т. 38. – № 2. – С. 263–277.

14. Карачевцева, И.П. Открытые пространственные данные для исследования территорий и цифровые сервисы доступа к ним / И.П. Карачевцева, С.С. Дубов, М.В. Андреев, А.С. Гаров, А.Э. Зубарев, и др. // Спутниковые технологии. – 2023. – № 2.

15. Акопов, А.С. Моделирование и оптимизация стратегий принятия индивидуальных решений в многоагентных социально-экономических системах с использованием машинного обучения / А.С. Акопов // Бизнес-информатика. – 2023. – Т. 17. – № 4. – С. 33–49.

References

1. Gvozdev, V.Ye. Mnogoaspektnoye modelirovaniye situatsiy v zadachakh obespecheniya funktsional'noy bezopasnosti apparatno-programmnykh kompleksov / V.Ye. Gvozdev, O.YA. Bezhayeva, G.R. Safina // Ontologiya proyektirovaniya. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 125–138.

2. Kostromin, R.O. Sravnitel'nyy obzor sredstv upravleniya konfiguratsiyami resursov vychislitel'noy sredy funktsionirovaniya tsifrovyykh dvoynikov / R.O. Kostromin // Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii. – 2021. – № 6(26). – С. 56–65.

3. Mikhnenko, P.A. Analiz multimodal'nykh dannyykh v upravlenii proyektami: perspektivy ispol'zovaniya mashinnogo obucheniya / P.A. Mikhnenko // Upravlencheskiye nauki. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 64–77.

4. Beketov, S.M. Evolyutsionnyye metody optimizatsii tsifrovyykh modeley organizatsionnykh sistem: literaturnyy obzor / S.M. Beketov, D.A. Zubkova, S.G. Red'ko // Vestnik PNIPU. Elektrotehnika, informatsionnyye tekhnologii, sistemy upravleniya. – 2024. – № 37. – С. 162–182.

5. Zaripov, Ye.A. Modelirovaniye i optimizatsiya kharakteristik intellektual'noy transportnoy sistemy «umnogo goroda» s ispol'zovaniyem gibridnykh evolyutsionnykh algoritmov / Ye.A. Zaripov, A.S. Akopov // Biznes-informatika. – 2025. – Т. 19. – № 2. – С. 94–110.

6. Massel', L.V. Semanticheskoye modelirovaniye pri postroyenii tsifrovyykh dvoynikov energeticheskikh ob'yektov i sistem / L.V. Massel', A.G. Massel' // Ontologiya proyektirovaniya. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 109–124.

7. Ragimov, SH.R.O. Eksperimental'noye issledovaniye protsessa upravleniya aktivnykh elementov gibkikh proizvodstvennykh sistem v usloviyakh neopredelennosti / SH.R.O. Ragimov, Dzh.F.O. Mamedov // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. – 2022. – № 4. – С. 148–160.

8. Valiullin, R. Razrabotka i primeneniye trenazherov-imitatorov na primere nefteperekachivayushchey stantsii / R. Valiullin // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. – 2023. – № 12(138).

9. Subbotenko, O.A. Primeneniye intellekt-kart v informatsionno-analiticheskoy deyatel'nosti: razvitiye, tekhnologii, integratsiya novogo programmnoy produkta / O.A. Subbotenko, Ye.A. Sazonova, V.M. Yuditskiy // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2024. – № 2. – С. 383–392.

10. Demidovskiy, A.V. Integrirovannyye neyrosimvolicheskiye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy: problemy i perspektivy / A.V. Demidovskiy, E.A. Babkin // Biznes-informatika. – 2021. –

Т. 15. – № 3. – С. 123–137.

11. Buynevich, M.V. Kombinirovaniye sposobov vyyavleniya insayderov bol'shikh informatsionnykh sistem / M.V. Buynevich, D.S. Vlasov, G.YU. Moiseyenko // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2024. – № 2(58). – С. 29–40.

12. Rebus, N.A. Rol' tekhnologiy iskusstvennogo intellekta v tsifrovoy transformatsii rossiyskogo proizvodstva / N.A. Rebus, I.G. Blagoveshchenskiy, O.V. Ratanova, F.A. Mastayev // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2025. – № 2(122). – С. 34–47.

13. Loginova, I.V. Ispol'zovaniye semanticheskogo analiza dlya avtomatizirovannogo vyyavleniya khaypovykh tekhnologiy / I.V. Loginova, A.S. Piyekalnits, A.V. Sokolov // Programmnyye produkty i sistemy. – 2025. – Т. 38. – № 2. – С. 263–277.

14. Karachevtseva, I.P. Otkrytye prostranstvennyye dannyye dlya issledovaniya territoriy i tsifrovyye servisy dostupa k nim / I.P. Karachevtseva, S.S. Dubov, M.V. Andreyev, A.S. Garov, A.E. Zubarev, i dr. // Sputnikovyte tekhnologii. – 2023. – № 2.

15. Akopov, A.S. Modelirovaniye i optimizatsiya strategiy prinyatiya individual'nykh resheniy v mnogoagentnykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh s ispol'zovaniyem mashinnogo obucheniya / A.S. Akopov // Biznes-informatika. – 2023. – Т. 17. – № 4. – С. 33–49.

© А.В. Рубин, Д.С. Серезлеев, О.В. Колосова, 2025

УДК 004.4:005.8:519.876.5

А.В. РУБИН¹, Д.С. СЕРЕЗЛЕЕВ^{2,3}, О.В. КОЛОСОВА¹¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»;³ПАО «Сбербанк», г. Санкт-Петербург

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНОСТЬЮ ПРОЕКТОВ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ключевые слова: имитационное моделирование; критическая цепь; сложность проекта; цифровой двойник проекта; эволюционная оптимизация; WIP-лимит.

Аннотация. Статья посвящена разработке и применению гибридной имитационной модели для управления сложностью крупных проектов разработки программного обеспечения (ПО).

Предлагается интеграция дискретно-событийного, агентного и системно-динамического подходов для описания потока работ, поведения команд и накопления технического долга. Формализованы стохастика длительностей (*PERT*), рециклы и ограничения ресурсов; введен интегральный индекс сложности проекта *CXICXI*, учитывающий структурные, организационные, технологические и рыночные факторы. Рассматривается портфель управленческих политик: WIP-лимиты, критическая цепь с буферами, правила приоритизации (*WSJF/SPT/EDF*), уровень автоматизации тестов и глубина ревью.

Параметры стратегий подбираются эволюционной оптимизацией на Монте-Карло эксперименте; эффективность оценивается по вероятности срыва сроков/бюджета, *Lead Time*, пропускной способности, *Cost of Delay*, *SPI/CPI* и качественным метрикам. Показано, что строгая настройка WIP на узком месте, буферизация по критической цепи и автоматизация регресса обеспечивают существенное снижение риска просрочки при положительном экономическом эффекте.

Представлены карты решений «профиль сложности → рекомендуемая стратегия» и практическая дорожная карта внедрения.

Введение

Крупные проекты разработки программного обеспечения характеризуются стохастикой длительностей работ, множественными зависимостями и циклами переработки, ограничениями по ресурсам и пропускной способности стадий, а также ростом координационных издержек при распределенной работе команд и изменчивости требований; совокупность этих факторов повышает вероятность срыва сроков и бюджета при риске деградации качества поставки. Цель исследования – на основе имитационного подхода выявить и обосновать управленческие политики, уменьшающие риск-экспозицию проекта при сохранении ценности поставки и производственной эффективности; в фокусе – настройка WIP-лимитов, буферизация критической цепи, выбор степени параллелизма и правил приоритизации, а также уровней автоматизации контроля качества. Вклад работы состоит в построении гибридной модели (дискретно-событийной – для потока работ, агентной – для поведения и кооперации команд, системно-динамической – для накопления и эффекта технического долга), введении интегрального индекса сложности проекта *CXI* для калибровки сценариев, разработке портфеля управленческих политик с параметрической оптимизацией на Монте-Карло экспериментах эволюционными методами, а также в представлении воспроизводимого экспериментального стенда и карт решений «профиль сложности → рекомендуемая стратегия». Контекст работы задается ускоряющейся цифровой трансформацией

и расширением практик искусственного интеллекта в производстве, что повышает требования к управлению неопределенностью, к дисциплине метрик успеха и к доказательности экономического эффекта принимаемых решений [12].

Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна заключается в единой методологии, которая сочетает гибридную имитацию (дискретно-событийный поток работ, агентные взаимодействия команд и системно-динамическое накопление технического долга) с интегральным индексом сложности *CXI*, агрегирующим структурные, организационные, технологические и рыночные факторы проекта. Индекс связан с причинно-следственными контурами модели (загрузка узких мест → очереди → рециклы → сдвиг сроков → *cost of delay*), что позволяет количественно сопоставлять альтернативные стратегии на сопоставимых профилях сложности. Второй элемент новизны – портфель управленческих политик (*WIP*-лимиты по стадиям, буферизация критической цепи, правила приоритизации *WSJF/SPT/EDF*, уровни автоматизации тестирования и глубина ревью), параметризуемый и настраиваемый как многоцелевой оптимизационный вектор; калибровка выполняется эволюционными/гибридными алгоритмами по Монте-Карло экспериментам с целями типа $\min P(T > T_0)$, $\min P(C > B_0)$, $\max Throughput$ и ограничениями на качество. Третий вклад – включение нейросимволических правил в контуры диспетчирования и эскалации (комбинация формальных политик и *ML*-оценок риска/ценности), что повышает устойчивость решений и обеспечивает трассируемую объяснимость выбора стратегии [10]. Практическая значимость выражается в готовых «картах решений» вида «профиль *CXI* → рекомендуемый набор политик с параметрами», которые сопровождаются (для внедрения) методическими описаниями (описания конфигураций стендов, стадий, наборов данных), а также метриками и операционными *KPI* (вероятность срыва срока/бюджета, *Lead Time*, пропускная способность, *CoD*, *SPI/CPI*) для поэтапного внедрения и контроля эффекта в линейной эксплуатации.

Материалы и методы

1. Тип модели. Используется гибридная

архитектура имитации: дискретно-событийная компонента описывает поток работ (поступление задач, начало/окончание обработки на стадиях, генерацию возвратов на доработку), агентная – поведение команд и отдельных исполнителей (выбор задачи, переключения, эскалации, кооперация), системно-динамическая – медленные контуры накопления/снятия технического долга и «обучения организации». Артефакты требований, кода, тестов и эксплуатационных инцидентов связаны семантически (граф трассируемости «требование → реализация → проверка → эксплуатационный эффект»), что формирует «цифровой двойник» проекта и позволяет замыкать циклы обратной связи (дефект → рецикл → изменение плана → сдвиг релиза) [1; 6].

2. Представление задач. Проект задается ориентированным графом $G = (V, E)$, где вершина $i \in V$ – работа (история/эпик/техническая задача), дуга $(i, j) \in E$ – предшествование. Для каждой работы задается тройка *PERT* (a_i, m_i, b_i) с ожидаемой длительностью $E[D_i] = (a_i + 4 * m_i + b_i)/6$ и дисперсией $\sigma_i^2 = ((b_i - a_i)/6)^2$; вероятность возврата на доработку p_i^{re} и матрица зависимостей R_{ij} для моделирования каскадных рециклов. Обслуживание ведется в мультиочередях по стадиям конвейера: *Backlog* → *In-Progress (WIP L)* → *Review* → *Test* → *Done*. Интенсивности поступления и обслуживания на стадии s обозначаются $\lambda_s(t)$ и $\mu_s(t)$; эффект возврата реализуется событиями «*rework-start/rework-finish*» с повторным прохождением по заданной подсети. Приоритизация на входе стадий поддерживает классы срочности (обычный/экспедит/фикс-дата), а календарные ограничения и внешние зависимости фиксируются в расписании ресурсов.

3. Ресурсы и оргструктура. Есть набор команд $k = 1, \dots, K$ с мощностью Cap_k (нормо-часы в единицу времени), матрицей компетенций S_{kl} по типам работ/технологиям l , штрафом за многозадачность $\eta \in (0,1)$ и координационными издержками c_k (возрастают с числом параллельных задач и межкомандных связей). Эффект обучаемости реализуется кривой Райта: время на n -й однородный элемент $t_n = t_1 * n^b$, $b < 0$; накопленное обучение повышает $\mu_s(t)$ для соответствующих стадий. Назначение задач – по политике «*best fit*» → S_{kl} с учетом доступности и правил диспетчирования. В условиях неопределенности применяются адаптивные управленческие политики: динамические *WIP*-лимиты

по узкому месту, буферизация критической цепи, приоритизация *WSJF/SPT/EDF* при учете классов критичности и порогов по загрузке ресурсов; также эскалации и триггеры ревью для снижения вероятности возвратов/рециклов [7].

4. Очереди и узкие места. Поток работ на стадиях конвейера описывается отношением «поступление – обслуживание». Для стадии s с интенсивностями λ_s и μ_s коэффициент загрузки $\rho_s = \lambda_s/\mu_s$. При стационарности ожидание в очереди аппроксимируется формулой:

$$W_{q,s} \approx \frac{\rho_s}{\mu_s * (1 - \rho_s)},$$

$$W_s = W_{q,s} + \frac{1}{\mu_s}.$$

Средний цикл прохождения конвейера: $\sum_s W_s$. По закону Литтла: $WIP = \lambda * CT$, где λ – фактическая пропускная способность системы. Узким местом является стадия с $\rho_s = \max_s \rho_s$; при $\rho_s \rightarrow 1$ ожидается взрывной рост $W_{q,s}$, что ведет к удлинению CT , накоплению невыполненной работы и росту вероятности рециклов. Для контроля устанавливаются пороги $\rho_s < \rho_{max}$ и ограничения на WIP по стадиям, а также вводятся правила дросселирования входного потока, перераспределение мощностей и локальная буферизация перед узким местом.

5. Индекс сложности. Интегральный показатель CXI объединяет ключевые факторы сложности и нормируется в $[0; 1]$:

$$CXI = w_1 H_G + w_2 OC + w_3 TC + w_4 Vol, \sum_{j=1}^4 w_j = 1.$$

Структурная компонента H_G отражает сложность сетевой зависимости работ. $H_G = |E|/|I|$ в сочетании с энтропией распределения степеней вершин (чем выше неоднородность, тем выше риск координации и рециклов).

Организационная компонента OC учитывает число команд K , долю межкомандных связей E_{cross}/E , текучесть τ и коммуникационные издержки (например, рост времени синхронизаций с увеличением K).

Технологическая компонента TC агрегирует сложность кода (цикломатическая глубина модульной иерархии), технический долг (*backlog* невыполненных улучшений, «тестовый долг»)

и частоту дефектов.

Компонента волатильности Vol измеряет темп изменений требований (*churn*), долю срочных/фикс-дейт задач и амплитуду рыночных флуктуаций.

Все подиндексы приводятся к $[0; 1]$ (*min-max/robust scaling*), веса w_j калибруются по историческим данным (регрессия на KPI или энтропийные веса) и применяются при стратификации сценариев и выборе политики.

Политики управления

1. Ограничение незавершенки (*WIP*). Лимиты L_s по стадиям удерживают ρ_s ниже порогов и сокращают $W_{q,s}$; LL настраивается адаптивно по сигналам о перегрузке узкого места и росте $CTCT$.

2. Каденс и параллелизм. Длина спринта SS и степень параллелизма π регулируют баланс «скорость ↔ координационные издержки»; рост π без увеличения μ_s повышает ρ_s и риск очередей.

3. Автоматизация контроля качества. Доля автоматизированного регресса α_{auto} сокращает время тестового цикла и вероятность возврата p^{re} , глубина ревью r (число рецензентов) снижает дефектность на стадии *Review* ценой дополнительной загрузки.

4. Буферизация критической цепи (*CCPM*). Проектный буфер для критической цепи:

$$B_p = \beta \sqrt{\sum_{i \in crit} \sigma_i^2},$$

где σ_i – стандартные отклонения длительностей критических работ; β выбирается по требуемому уровню сервисности. Контроль «*fever chart*» обеспечивает ранние эскалации при сверхнормативном потреблении буфера.

5. Диспетчирование и эскалация на базе знаний. Нейросимволические правила комбинируют формальные политики с ML -оценками риска просрочки/ценности и вероятности рецикла; решения трассируются и применяются в симуляторе как управляемые политики [10].

Оптимизация и вектор решений

$\theta = \{L_s, B_p, S, \pi, \alpha_{auto}, r, rule, mix_{team}\}$ включает WIP -лимиты по стадиям L_s , проектный буфер критической цепи B_p , длину спринта S , степень

параллелизма π , долю автоматизации регресса α_{auto} , глубину ревью r , правило приоритизации (*WSJF/SPT/EDF/гибрид*) и состав команд по компетенциям. Постановка – многоцелевая: $min_0(P(T > T_0), P(C > B_0), CoD), max_0 Throughput$ при ограничениях $\rho_s < \rho_{max}$, целевых порогах качества и ресурсных бюджетах.

Оценка каждой θ выполняется Монте-Карло сериями ($N \geq 103$) с вариативностью (a_i, m_i, b_i), p_i^{re} и календарных рисков; для робастности оптимизируются $CVaR_\alpha[T]$ и $CVaR_\alpha[C]$. Поиск ведется эволюционными/гибридными алгоритмами (*NSGA-III/CMA-ES/DE* с латинским гиперкубом начальной популяции, элитизмом, ранжированием по Парето и штрафованием за нарушения ограничений); используется суррогатная аппроксимация цели (градиент-бустинг / радиальные процессы) с периодической переоценкой «на истине». Результат – фронт Парето и выбранная политика с наилучшим компромиссом, под профиль *CXI* [4; 5; 15].

1. Данные и аналитика. Источники: трекер задач (эпику/истории/приоритеты/даты), системы контроля версий (коммиты, авторы, размер изменений), *CI/CD* (сборки, тест-прогоны, покрытия), баг-трекинг (дефекты/*severity*), документация и переписка. Пайплайн: извлечение и слияние по ключам/времени, очистка, нормализация часовых поясов, дедупликация артефактов, пополнение пропусков, синхронизация с календарями релизов; построение признаков – *PERT*-параметры из эмпирических распределений, вероятности рециклов из логит-моделей, производительность команд, метрики кода, интенсивность инцидентов. Для прогнозов сроков/рисков применяются модели градиентного бустинга / случайных лесов и эмбединги текстов требований/коммитов; дрейф контролируется детекторами (*ADWIN/KS*-тест) с перекалибровкой. Семантический анализ трендов и «технических хайпов» по публикациям/репозиториям используется для генерации сценариев волатильности спроса и *churn* требований [3; 13].

2. Инфраструктура и воспроизводимость. Все артефакты (код симулятора, конфигурации, наборы данных, отчеты) версионизируются в *Git*; окружения фиксируются контейнерами (*Docker*) и описываются как код (*IaC*) вместе с параметрами экспериментов в *YAML*. Данные управляются через *DVC/analog*s с контрольными суммами; эксперименты трекаются (*MLflow/*

аналог) с сохранением сидов генератора случайных чисел, что обеспечивает бинарную воспроизводимость результатов. Для прикладной валидации сценариев используются имитационные тренажеры и «песочницы» с реплей-механизмом журналов событий; предусмотрен пакет скриптов для прогонки регресса результатов по контрольным конфигурациям [2; 8]. При распределенных командах включается геопространственный слой (локации участников, часовые пояса, окна синхронизаций) и пространственные ограничения на коммуникации/доступность, что отражается в календарях и коэффициентах координации [14].

3. Риски и безопасность. В сценарии учитываются организационно-поведенческие и информационные риски, включая *insider-risk*: формируется множество событий $\{rj\}$ с вероятностями p_j и потерями L_j (сдвиги T , перерасход C , ухудшение качества), ожидаемый ущерб $E[Loss] = \sum_j p_j L_j$. Интенсивность отдельных классов событий моделируется пуассоновскими/бернуллиевскими процессами с параметрами, зависящими от профиля *OC* и уровня контроля доступа; в имитации реализуются ветвления событий (деревья/байесовские сети) и механизмы эскалации. В оптимизационные цели включаются $CVaR_\alpha[Loss]$ и штрафы за превышение регуляторных / комплаенс-ограничений, что позволяет выбирать стратегии, устойчивые к поведенческим нарушениям и внутренним злоупотреблениям [11].

Формализация ключевых расчетов

Рециклы – вероятность возврата и длительность.

Вероятность возврата задачи i на доработку:

$$q_i = 1 - (1 - p_i^{re})^{(1 + \sum_j R_{ji})}$$

где p_i^{re} – базовая вероятность рецикла (по ревью/тестам); $\sum_j R_{ji}$ – суммарная сила зависимостей (риск каскадных возвратов).

Ожидаемая длительность с учетом переделок: $E[D'_i] = E[D_i]/(1 - q_i)$.

Для пути (цепи) время суммируется по работам с учетом повторных проходов.

Буферизация критической цепи

Проектный буфер:

$$B_p = \beta * \sqrt{\sum_{i \in \text{crit}} \sigma_i^2},$$

где σ_i – ст. отклонение длительности работы i (напр., из PERT); β – коэффициент покрытия (уровень сервиса).

Канальные и ресурсные буферы:

$$B_{f,s} = \beta_f * \sqrt{\sum_{i \in \text{feed}(s)} \sigma_i^2}$$

$$\text{и } B_{r,k} = \beta_r * \sqrt{\sum_{i \in \text{res}(k)} \sigma_i^2}.$$

Мониторинг «fever-chart»

Индикатор прогресса: $z(t) = \text{consumed}(t) / \text{expected}(t)$.

Пороги эскалации: $z \geq 1$ (желтая зона) и $z \geq 1 + \delta$ (красная зона).

Настройка WIP (минимизация риска срыва срока)

Оптимизация: $L^* = \arg \min_L P(T > T_0)$ при ограничениях $\rho_s \leq \rho_{\max}$ на всех стадиях и заданных порогах качества.

Оценка вероятности по Монте-Карло: $P(T > T_0) = (1/N) * \sum_{n=1}^N 1\{T^{(n)} > T_0\}$.

При необходимости оптимизируется условный риск $CVaR_\alpha[T]$ и решается многокритериальная минимизация $\min(P(T > T_0), P(C > B_0), CoD)$ с поиском по сетке или эволюционными алгоритмами с суррогатной аппроксимацией цели.

Экономика задержки (Cost of Delay)

$CoD = \text{value}_{\text{rate}} * \Delta t$, где $\text{value}_{\text{rate}}$ – ожидаемый поток ценности/выручки; Δt – задержка релиза.

Управленческие метрики (EVM)

$SPI = EV/PV$, $CPI = EV/AC$, где EV – освоенный объем; PV – плановый объем; AC – фактические затраты.

Прогноз срока при текущей производительности: $T \approx T_0/SPI$.

Прогноз затрат: $EAC = AC + (BAC - EV)$

CPI , где BAC – утвержденный бюджет по завершении.

Экспериментальный дизайн

Рассматриваются пять стратегий: *Base (Scrum)* с фиксированным спринтом и без явных WIP-ограничений; *Kanban + WIP* с лимитами незавершенки по стадиям; *CCPM* (буферы) с буферизацией критической цепи и «fever-chart»; *Agile + Automation* с повышением доли автоматизированного регресса и углубленным code review; *Hybrid* – комбинация WIP, буферов и правил приоритизации (WSJF/SPT/EDF). Для каждой стратегии выполняется серия Монте-Карло (не менее 103 прогонов) с варьированием PERT-параметров (a_i, m_i, b_i), вероятностей рециклов p_i^{re} , календарных и организационных рисков. План факторов включает сетку по L (WIP-лимиты по стадиям), B_p (проектный буфер), длине спринта, степени параллелизма, доле автоматизации и глубине ревью, а также по правилам приоритизации и составу команд по компетенциям. Все эксперименты сопровождаются отчуждаемыми артефактами: конфигурации симулятора и окружений, «паспорт модели» с версиями и гиперпараметрами, сиды генератора, наборы данных и отчетов, что обеспечивает воспроизводимость и переносимость стенда на изолированные «песочницы» и тренажеры [2; 8; 14].

Метрики и показатели

Основные вероятностные показатели – вероятность срыва срока $P(T > T_0)$ и бюджета $P(C > B_0)$; временные – медианные *Lead Time* и *Throughput* по стадиям и по проекту; экономические – ожидаемый *Cost of Delay* и его риск-профиль через $CVaR_\alpha$. Качество оценивается по плотности дефектов (дефекты/KLOC), доле регрессов, отношению покрытий тестами и устойчивости сборок. Для управленческого контура применяются индексы EVM: $SPI = EV/PV$ и $CPI = EV/AC$; дополнительно отслеживается доля невыполненных обязательств спринта и траектории потребления буферов. Узкие места характеризуются загрузкой ρ_s и временем ожидания по стадиям. Сложность проекта описывается интегральным индексом CXI; проводится чувствительный анализ KPI к его компонентам (структурной, организационной, технологической волатильности) и к управленческим пара-

метрам, включая построение торнадо-диаграмм и ранжирование факторов важности по методам Соболя, что позволяет связать профиль сложности с выбором стратегии [3; 4].

Результаты

Представлены распределения сроков T и затрат C по стратегиям *Base*, *Kanban + WIP*, *CCPM*, *Agile + Automation* и *Hybrid* с перцентильями, вероятностями превышения целевых порогов и картами плотности «срок – стоимость»; построен *efficient frontier* в координатах «риск срыва $P(T > T_0) \rightarrow$ ожидаемая стоимость/*CoD*», на котором выделены доминирующие решения и область Парето-оптимальности. Выполнен подробный чувствительный анализ: торнадо-диаграммы влияния CXI , L_s , B_p , уровня автоматизации и размера команды k на $P(T > T_0)$, *Lead Time*, *Throughput*, *SPI/CPI* и $CVaR_\alpha(C)$; дополнительно получены индексы Соболя для оценки долей дисперсии, объясняемой ключевыми факторами. Для *CCPM* визуализированы *fever-charts* потребления проектного/канальных/ресурсных буферов с линиями ожидания и порогами эскалации; для *Kanban + WIP* и *Hybrid* показаны траектории загрузки ρ_s по стадиям и интервалы стабильности. Сформированы карты решений «профиль $CXI \rightarrow$ политика», где для диапазонов CXI указаны рекомендуемые коридоры L_s , B_p , α_{auto} , правила приоритизации и mix_{team} по компетенциям. Результаты дополнены интерактивной и визуальной аналитикой (дашборды *KPI*, матрицы соответствий, графы очередей/рециклов и когнитивные карты причинно-следственных связей) для фиксации управленческих гипотез и согласования решений со стейкхолдерами [9].

Обсуждение

Проанализированы компромиссы «параллелизм \leftrightarrow координация» (рост π ускоряет поток при малых CXI , но увеличивает координационные издержки и очереди при высоких CXI), а также «автоматизация \leftrightarrow издержки» (увеличение α_{auto} снижает p^{re} и *Lead Time* в тестовом контуре, но требует начальных вложений и изменяет профиль *CoD*). Показана применимость стратегий к различным профилям CXI : при низкой структурной и организационной сложности выигрывает *Kanban + WIP*, при высокой неопределенности и вариативности длительностей до-

минирует *CCPM*, а при одновременно высоких TC и Vol наиболее устойчивы гибридные политики с нейросимволическими правилами диспетчирования и динамическими *WIP*-лимитами. Обсуждается масштабирование на портфель проектов и влияние распределенности (география / часовые пояса) на координацию и потребление буферов, а также роль пространственно-временных ограничений в выборе каденса и правилах эскалации [6; 14]. Отдельно рассмотрено влияние адаптивных рыночных правил на устойчивость к шокам спроса и волатильности требований, включая сценарии «технических хайпов» и смены приоритетов релизов [10]. Учтены организационно-поведенческие риски (*insider-risk*) и их влияние на $CVaR_\alpha$ потерь; показано, что включение соответствующих ограничений и наблюдателей в контур управления снижает хвостовые риски без ухудшения Парето-фронта по срокам и стоимости [11].

Выводы

Определены комбинации политик, которые при заданном профиле сложности $CXICXI$ минимизируют одновременно $P(T > T_0)$ и $P(C > B_0)$: при умеренной структурной и организационной сложности доминируют *WIP*-ограничения на узких местах; при высокой неопределенности длительностей и частых возвратах эффективна буферизация критической цепи (*CCPM*); при одновременном росте технологической сложности и волатильности требований наилучшие результаты дает гибридная стратегия (*WIP* + буферы + правила приоритизации + повышенная автоматизация регресса). Интегральный индекс CXI пригоден для стратификации проектов и предварительного выбора набора управленческих параметров, а карты « $CXI \rightarrow$ политика» обеспечивают переносимость решений между потоками работ и портфелями.

Практические рекомендации

Рекомендуется жестко лимитировать незавершенку на узком месте (динамический *WIP* по сигналам загрузки ρ_s) и задавать проектный буфер по критической цепи:

$$B_p \approx 1,5 \sqrt{\sum_{i \in crit} \sigma_i^2}$$

Уровень автоматизации регресса удержи-

вать не ниже 70 %, глубину код-ревью – не менее «двух пар глаз» с формализованными чек-листами. Для приоритизации использовать *WSJF/CoD* для ценностно-чувствительных требований, *EDF* для «фикс-дат», *SPT* на перегруженных стадиях; включить *fever-charts* потребления буферов и эскалации по порогам. Ввести регулярную перекалибровку параметров L_s , B_p , правил диспетчирования и состава команд

на основе чувствительного анализа. Дорожная карта внедрения: диагностика (базовые метрики *CT*, *Lead Time/Throughput*, *SPI/CPI*, *CoD*, загрузка узких мест) → пилот на одном потоке → калибровка параметров по Монте-Карло оценкам → масштабирование на портфель → институционализация дашбордов *SPI/CPI*, *CoD* и ρ_s с квартальной перекалибровкой и управлением по фронту Парето «риск срока ↔ стоимость».

Список литературы

1. Гвоздев, В.Е. Многоаспектное моделирование ситуаций в задачах обеспечения функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, Г.Р. Сафина // *Онтология проектирования*. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 125–138.
2. Костромин, Р.О. Сравнительный обзор средств управления конфигурациями ресурсов вычислительной среды функционирования цифровых двойников / Р.О. Костромин // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. – 2021. – № 6(26). – С. 56–65.
3. Михненко, П.А. Анализ мультимодальных данных в управлении проектами: перспективы использования машинного обучения / П.А. Михненко // *Управленческие науки*. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 64–77.
4. Бекетов, С.М. Эволюционные методы оптимизации цифровых моделей организационных систем: литературный обзор / С.М. Бекетов, Д.А. Зубкова, С.Г. Редько // *Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. – 2024. – № 37. – С. 162–182.
5. Зарипов, Е.А. Моделирование и оптимизация характеристик интеллектуальной транспортной системы «умного города» с использованием гибридных эволюционных алгоритмов / Е.А. Зарипов, А.С. Акопов // *Бизнес-информатика*. – 2025. – Т. 19. – № 2. – С. 94–110.
6. Массель, Л.В. Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем / Л.В. Массель, А.Г. Массель // *Онтология проектирования*. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 109–124.
7. Рагимов, Ш.Р.О. Экспериментальное исследование процесса управления активных элементов гибких производственных систем в условиях неопределенности / Ш.Р.О. Рагимов, Дж.Ф.О. Мамедов // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2022. – № 4. – С. 148–160.
8. Валиуллин, Р. Разработка и применение тренажеров-имитаторов на примере нефтеперекачивающей станции / Р. Валиуллин // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2023. – № 12(138).
9. Субботенко, О.А. Применение интеллект-карт в информационно-аналитической деятельности: развитие, технологии, интеграция нового программного продукта / О.А. Субботенко, Е.А. Сазонова, В.М. Юдицкий // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2024. – № 2. – С. 383–392.
10. Демидовский, А.В. Интегрированные нейросимволические системы поддержки принятия решений: проблемы и перспективы / А.В. Демидовский, Э.А. Бабкин // *Бизнес-информатика*. – 2021. – Т. 15. – № 3. – С. 123–137.
11. Буйневич, М.В. Комбинирование способов выявления инсайдеров больших информационных систем / М.В. Буйневич, Д.С. Власов, Г.Ю. Моисеенко // *Вопросы кибербезопасности*. – 2024. – № 2(58). – С. 29–40.
12. Ребус, Н.А. Роль технологий искусственного интеллекта в цифровой трансформации российского производства / Н.А. Ребус, И.Г. Благовещенский, О.В. Ратанова, Ф.А. Мастяев // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. – 2025. – № 2(122). – С. 34–47.
13. Логинова, И.В. Использование семантического анализа для автоматизированного выявления хайповых технологий / И.В. Логинова, А.С. Пиекалнитс, А.В. Соколов // *Программные про-*

дукты и системы. – 2025. – Т. 38. – № 2. – С. 263–277.

14. Карачевцева, И.П. Открытые пространственные данные для исследования территорий и цифровые сервисы доступа к ним / И.П. Карачевцева, С.С. Дубов, М.В. Андреев, А.С. Гаров, А.Э. Зубарев, и др. // Спутниковые технологии. – 2023. – № 2.

15. Акопов, А.С. Моделирование и оптимизация стратегий принятия индивидуальных решений в многоагентных социально-экономических системах с использованием машинного обучения / А.С. Акопов // Бизнес-информатика. – 2023. – Т. 17. – № 4. – С. 33–49.

References

1. Gvozdev, V.Ye. Mnogoaspektnoye modelirovaniye situatsiy v zadachakh obespecheniya funktsional'noy bezopasnosti apparatno-programmnykh kompleksov / V.Ye. Gvozdev, O.YA. Bezhayeva, G.R. Safina // Ontologiya proyektirovaniya. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 125–138.

2. Kostromin, R.O. Sravnitel'nyy obzor sredstv upravleniya konfiguratsiyami resurov vychislitel'noy sredy funktsionirovaniya tsifrovyykh dvoynikov / R.O. Kostromin // Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii. – 2021. – № 6(26). – С. 56–65.

3. Mikhnenko, P.A. Analiz mul'timodal'nykh dannykh v upravlenii proyektami: perspektivy ispol'zovaniya mashinnogo obucheniya / P.A. Mikhnenko // Upravlencheskiye nauki. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 64–77.

4. Beketov, S.M. Evolyutsionnyye metody optimizatsii tsifrovyykh modeley organizatsionnykh sistem: literaturnyy obzor / S.M. Beketov, D.A. Zubkova, S.G. Red'ko // Vestnik PNIPU. Elektrotehnika, informatsionnyye tekhnologii, sistemy upravleniya. – 2024. – № 37. – С. 162–182.

5. Zaripov, Ye.A. Modelirovaniye i optimizatsiya kharakteristik intellektual'noy transportnoy sistemy «mnogo goroda» s ispol'zovaniyem gibridnykh evolyutsionnykh algoritmov / Ye.A. Zaripov, A.S. Akopov // Biznes-informatika. – 2025. – Т. 19. – № 2. – С. 94–110.

6. Massel', L.V. Semanticheskoye modelirovaniye pri postroyenii tsifrovyykh dvoynikov energeticheskikh ob'yektov i sistem / L.V. Massel', A.G. Massel' // Ontologiya proyektirovaniya. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 109–124.

7. Ragimov, SH.R.O. Eksperimental'noye issledovaniye protsessa upravleniya aktivnykh elementov gibkikh proizvodstvennykh sistem v usloviyakh neopredelennosti / SH.R.O. Ragimov, Dzh.F.O. Mamedov // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. – 2022. – № 4. – С. 148–160.

8. Valiullin, R. Razrabotka i primeneniye trenazherov-imitatorov na primere nefteperekachivayushchey stantsii / R. Valiullin // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. – 2023. – № 12(138).

9. Subbotenko, O.A. Primeneniye intellekt-kart v informatsionno-analiticheskoy deyatel'nosti: razvitiye, tekhnologii, integratsiya novogo programmnoy produkta / O.A. Subbotenko, Ye.A. Sazonova, V.M. Yuditskiy // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2024. – № 2. – С. 383–392.

10. Demidovskiy, A.V. Integrirovannyye neyrosimvolicheskiye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy: problemy i perspektivy / A.V. Demidovskiy, E.A. Babkin // Biznes-informatika. – 2021. – Т. 15. – № 3. – С. 123–137.

11. Buynevich, M.V. Kombinirovaniye sposobov vyyavleniya insayderov bol'shikh informatsionnykh sistem / M.V. Buynevich, D.S. Vlasov, G.YU. Moiseyenko // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2024. – № 2(58). – С. 29–40.

12. Rebus, N.A. Rol' tekhnologiy iskusstvennogo intellekta v tsifrovoy transformatsii rossiyskogo proizvodstva / N.A. Rebus, I.G. Blagoveshchenskiy, O.V. Ratanova, F.A. Mastayev // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2025. – № 2(122). – С. 34–47.

13. Loginova, I.V. Ispol'zovaniye semanticheskogo analiza dlya avtomatizirovannogo vyyavleniya khaypovykh tekhnologiy / I.V. Loginova, A.S. Piyekalnits, A.V. Sokolov // Programmnyye produkty i sistemy. – 2025. – Т. 38. – № 2. – С. 263–277.

14. Karachevtseva, I.P. Otkrytyye prostranstvennyye dannye dlya issledovaniya territoriy i tsifrovyye servisy dostupa k nim / I.P. Karachevtseva, S.S. Dubov, M.V. Andreyev, A.S. Garov,

A.E. Zubarev, i dr. // Sputnikovyye tekhnologii. – 2023. – № 2.

15. Akopov, A.S. Modelirovaniye i optimizatsiya strategiy prinyatiya individual'nykh resheniy v mnogoagentnykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh s ispol'zovaniyem mashinnogo obucheniya / A.S. Akopov // Biznes-informatika. – 2023. – T. 17. – № 4. – S. 33–49.

© А.В. Рубин, Д.С. Серезлеев, О.В. Колосова, 2025

УДК 004.056.5 + 005.934

А.В. РУБИН¹, Д.С. СЕРЕЗЛЕЕВ^{2,3}, О.В. КОЛОСОВА¹

¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»;

³ПАО «Сбербанк», г. Санкт-Петербург

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СТАНДАРТИЗАЦИИ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ИНТЕГРАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Ключевые слова: ГОСТ Р 57580; защита данных; кибербезопасность; стандартизация; ISO/IEC 27001; NIST CSF.

Аннотация. Статья рассматривает актуальные направления стандартизации в области кибербезопасности и защиты данных и их влияние на развитие информационных технологий. Предложена универсальная матрица соответствия (*UCM*) для сопоставления управленческих и технологических стандартов по 12 доменам (*governance & risk*, активы/конфигурации, *IAM*, защита данных и приватность, безопасная разработка/*DevSecOps*, операции/изменения, мониторинг/детектирование, реагирование на инциденты, устойчивость/*BCP-DR*, управление поставщиками, облачные сервисы, *OT/ICS*). Выполнено сравнение международных и отечественных рамок: ISO/IEC 27001:2022 и 27002:2022, ISO/IEC 27701, ISO/IEC 27017/27018, NIST CSF 2.0, NIST SP 800-53 rev.5, IEC 62443, PCI DSS 4.0, а также ГОСТ Р 57580.x, ФЗ-152 и ФЗ-187. Для оценки целесообразности внедрения используется экономическая модель соответствия, учитывающая *CAPEX/OPEX*, стоимость аудита и ожидаемое снижение потерь (ΔALE), что позволяет формировать оптимальный портфель стандартов под бюджетные ограничения и отраслевые профили (*CALS/PLM*, *VIM/IFC*, мобильное обучение, блокчейн, искусственный интеллект (*ИИ*)). По результатам анализа выявлены зоны перекрытия и пробелы (*privacy*, облако, *OT*), намечены тенденции конвергенции *security-by-design* и *privacy-by-design*, появления профилей для *ИИ*-систем и стандартизации метрик *DevSecOps*, а также усиления требований к управлению по-

ставщиками и цепями поставок.

Введение

Цифровая трансформация усиливает роль управленческих и технологических стандартов, требуя интеграции корпоративных практик с единой системой требований и процедур контроля качества и безопасности данных [1]. Национальные тенденции стандартизации информационно-коммуникационных технологий (*ИКТ*) акцентируют импортонезависимость, отраслевую специфику и ускоренную адаптацию новых технологических профилей (облака, *DevSecOps*, приватность) [2]. Межгосударственные форматы координации создают основу для унификации терминологии, процедур сертификации и взаимного признания требований в трансграничных проектах [3]. Методологические подходы к мультимодальной национальной стандартизации позволяют сопоставлять управленческие и технологические рамки, выстраивая сквозные доменные профили (*governance*, *IAM*, *data protection*, мониторинг/инциденты, устойчивость, поставщики) [4]. Одновременно бизнесу необходимы количественные инструменты оценки зрелости и соответствия, связывающие выбор стандартов с экономическими эффектами и рисковыми метриками процессов [5].

Обзор стандартов и нормативной среды

Межгосударственные и региональные инициативы задают рамки унификации термино-

логии, совместимости процедур оценки соответствия и взаимного признания результатов, что критично для трансграничных ИТ-проектов и обмена данными [3]. Юрико-технический каркас формируется через модельные информационные кодексы и смежные акты, определяющие статус электронных процессов, режимы данных и требования к документированию; применимость норм напрямую зависит от корректной техники правового конструирования [6]. Существенным фактором практического применения является качество перевода и локализации стандартов: терминологические сдвиги и расхождения в формулировках снижают верифицируемость требований и осложняют аудит соответствия [11].

Отечественные тенденции стандартизации ИКТ концентрируются на импортнезависимости, отраслевой специализации и ускоренной адаптации технологических профилей (облака, *DevSecOps*, приватность), а также на формировании национальных центров компетенций по нормированию и сертификации [2]. На уровне корпоративного управления востребована интеграция управленческих и технологических стандартов в единую систему процессов, метрик и ответственности, увязанную с цифровой трансформацией и управлением изменениями [1]. Методологически это поддерживается мультимодальным подходом к национальной стандартизации: сопоставление рамок по доменам и сценариям применения с учетом отраслей и жизненного цикла ИТ-услуг [4]. Для оценки готовности организаций используются модели цифровой зрелости, привязанные к стандартам управления активами и процессами непрерывного улучшения [5].

Отраслевые профили дополняют базовые требования безопасности данных. В инженерных контурах применяются *CALS/PLM*-подходы к сквозной интеграции данных и документации, обеспечивающие межформатную совместимость на стадиях разработки, производства и эксплуатации [12]. В архитектуре и строительстве качество информационных моделей обеспечивается правилами валидации *BIM/IFC* и управлением происхождением данных, что повышает трассируемость и полноту цифровых объектов [13]. В образовательных экосистемах стандартизация процессов мобильного обучения учитывает специфику устройств, контента и приватности обучающихся, требуя адаптации профилей качества и безопасности [14].

Новые домены усиливают требования к данным. Для систем ИИ правовое и этико-правовое регулирование задает ориентиры ответственности, прозрачности и управляемости алгоритмов, что влияет на проектирование контуров контроля и отчетности [9]. Многоуровневые модели качества данных для ИИ вводят требования к происхождению, репрезентативности, устойчивости к смещениям и проверяемости, закрепляя метрики и процедуры переоценки качества [8].

В распределенных реестрах и смарт-контрактах стандартизация затрагивает неизменяемость журналов, управление ключами и аудит кода. Сопоставление подходов в разных юрисдикциях демонстрирует различия в акцентах на техническую безопасность, регуляторный режим и интеграцию с финансовой инфраструктурой [10].

Риск-менеджмент встраивается в систему менеджмента качества как объект стандартизации: единая терминология, процедуры идентификации/оценки/обработки рисков и связь с *KPI* процессов обеспечивают сопоставимость практик и управляемость портфелем мер [7]. Экономика стандартизации связывает стоимость внедрения и сопровождения с эффектом на эффективность и снижение ожидаемых потерь; использование *SMART*-стандартов демонстрирует, что формализация требований и метрические профили упрощают расчет отдачи и приоритизацию инициатив [15].

Метрики для верификации доменной полноты (примеры): доля активов в *CMDB*; % *MFA* по критичным ролям; % зашифрованных *PII*; доля артефактов со *SBOM* и подписью; покрытие логированием критичных систем; *MTTD/MTTR*; % поставщиков со скорингом \geq порога; % облачных ресурсов под *CSPM*-политиками; достижение *RTO/RPO* в учениях.

Основание доменной декомпозиции и контрольных перечней: интеграция управленческих и технологических стандартов, мультимодальная национальная стандартизация, зрелостные модели и риск-контур процессного менеджмента [1; 4; 5; 7].

Универсальная матрица соответствия (*UCM*)

Универсальная матрица соответствия (*UCM*): строится прямоугольная матрица $M \in \{0, 0,5, 1\}^{S \times K}$, где S – стандарты/рамки,

K – «эталонные» контролы (разнесены по 12 доменам). Элемент $m_{s,k}$ кодирует покрытие контроля k стандартом s : 1 – полное (есть четкое требование и верифицируемый критерий), 0,5 – частичное/условное (общая норма, без измеримого критерия или с ограничениями области), 0 – отсутствует. Каждый контроль k относится к домену $d(k)$ и имеет вес $w_k > 0$; домены взвешиваются весами $v_d > 0$ (если нет приоритетов, w_k и v_d нормируют до суммы 1).

Доменные и интегральные индексы

Для каждого стандарта s и домена d рассчитывается доля покрытия:

$$DC_{\{s,d\}} = \frac{\sum_{k: d(k)=d} w_k * m_{s,k}}{\sum_{k: d(k)=d} w_k} \in [0,1].$$

Интегральный индекс покрытия (*Coverage Composite Index*):

$$CCI_s = \frac{\sum_d v_d DC_{s,d}}{\sum_d v_d} \in [0,1].$$

Индекс зрелости предписаний (*Maturity & Auditability Score*) строится по шкале $g_{s,d} \in \{1, \dots, 5\}$ (1 – декларативно, 5 – детально, измеримо, аудируемо, поддерживает автоматизацию). Нормированный показатель:

$$MAS_s = \frac{\sum_d v_d * g_{s,d}}{5 \sum_d v_d} \in [0,1].$$

Профиль приватности – индекс покрытия подмножества контролей $P \in \{1..K\}$ (*PII, DPIA, RoPA*, анонимизация, шифрование ключевых полей, управление согласием, трансграничная передача):

$$PEF_s = \frac{\sum_{k \in P} w_k * m_{s,k}}{\sum_{k \in P} w_k} \in [0,1].$$

При необходимости аналогично выделяются профили облака (*CLF*) и *OT/ICS (OTF)* – с собственными подмножествами контролей [1; 4; 5].

Процедура оценки (шаги)

1. Формирование каталога контролей (K) по 12 доменам с унифицированной семантикой и *KPI* верификации.

2. Декомпозиция стандартов s до уровня контролируемых требований (*clause* → *control mapping*).

3. Двухнезависимая разметка $m_{s,k}$ экспертами; метрика согласия (*Cohen's κ*) $\geq 0,7$; рас согласования – через арбитра.

4. Нормирование весов w_k, v_d ; расчет $DC_{s,d}, CCI_s, MAS_s, PEF_s$.

5. Бутстреп-оценка доверительных интервалов для индексов и ранжирование стандартов; визуализация (тепловые карты, радары) [1; 5].

Качество перевода/локализации (влияние на применимость). Для национальных профилей рассчитывается коэффициент $TQS_s \in [0,1]$ (*Translation Quality Score*) по трем компонентам: терминологическая согласованность, структурная эквивалентность (гранулярность требований), полнота примечаний/приложений. Итоговый штраф применяют к зрелости и/или частичному покрытию:

$$MAS's = TQS_s * MAS_s, m'_{s,k} =$$

$$\begin{cases} m_{s,k}, \text{ при } TQS_s \geq 0,9 \\ 0,9m_{s,k}, \text{ при } 0,8 \leq TQS_s \leq 0,9. \\ 0,8m_{s,k}, \text{ при } TQS_s \leq 0,8 \end{cases}$$

После этого индексы пересчитываются. Это учитывает риск неоднозначной имплементации из-за перевода и повышает сопоставимость с оригинальными версиями стандартов [11].

Экономика соответствия

Полная стоимость соответствия стандарту s на горизонте T лет:

$$TCC_s = C_{cap,s} + C_{audit,s} + \sum_{t=1}^T \frac{C_{op,s}}{(1+r)^t},$$

где $C_{cap,s}$ – внедрение (политики, процессы, инструменты); $C_{audit,s}$ – первичная сертификация/аудит; $C_{op,s}$ – ежегодная эксплуатация и поддержка; r – ставка дисконтирования. Эффект соответствия – снижение годовой ожидаемой потери:

$$\Delta ALE_s = ALE_0 - ALE_{res,s} = ALE_0 * [1 - (1 - \Delta p_s) * (1 - \Delta l_s)],$$

где Δp_s и Δl_s – относительное уменьшение ве-

роятности и тяжести инцидентов благодаря контролям стандарта. Денежный поток эффекта: $CF_{s,t} = \Delta ALE_s - C_{op,s}$. Инвестиционные метрики:

$$NPV_s = -C_{cap,s} + \sum_{t=1}^T \frac{CF_{s,t}}{(1+r)^t}$$

$$ROI_s = \frac{\Delta ALE_s - C_{op,s}}{C_{cap}}$$

срок окупаемости – наименьшее τ , при котором

$$\sum_{t=1}^T \frac{CF_{s,t}}{(1+r)^t} \geq C_{cap,s}$$

Портфельный отбор при бюджете B :

$$\max_{x_s \in \{0,1\}} \sum_s (\alpha CCI_s + \beta PEF_s + \gamma * MAS_s) x_s$$

при $\sum_s C_{cap,s} x_s \leq B$,

где CCI_s , PEF_s , MAS_s – индексы покрытия, приватности и зрелости из UCM ; α , β , γ – веса полезности. Для чувствительности – Монте-Карло по распределению потерь с расчетом VaR_α , $CVaR_\alpha$ «до/после». Основание для экономической увязки – стандартизация риск-менеджмента и $SMART$ -подходы к нормированию затрат/эффектов [7; 15].

Отраслевые профили

Специфические расширения применяются как надстройки к базовым требованиям безопасности данных и приватности.

1. *CALS/PLM*. Контроли совместимости форматов и цепочки данных (*digital thread*), версияция конструкторской документации (КД), прослеживаемость изменений, сквозной конфигурационный менеджмент, интеграция с жизненным циклом изделия и электронным документооборотом [12].

2. *BIM/IFC*. Правила валидации *IFC* (*IFC-schema compliance*, *LOD/LOI*), *CDE*-платформа с ролями и журналированием, управление происхождением объектов модели, контроль качества атрибутов и экспорта/импорта, требования к архивированию и передаче моделей [13].

3. Мобильное обучение. Политики приват-

ности обучающихся, защита контента и результатов (*SCORM/xAPI*), *MDM*/контейнеризация устройств, безопасное распространение приложений, доступность и идентификация пользователей в распределенных средах [14].

4. Блокчейн-процессы. Политики неизменяемости журналов, управление ключами (*KMS/HSM*, многофакторное одобрение), аудит и верификация смарт-контрактов, мониторинг транзакций, минимизация персональных данных в реестре (хеши/офчейн-хранилища) [10].

5. ИИ-системы и качество данных. Требования к происхождению датасетов (*data lineage*), репрезентативности и устойчивости к смещениям, метрики качества/честности, протоколы переобучения и документация (*datasheets/model cards*) как расширение к контролям приватности и защиты данных [8].

Экспериментальная постановка (сопоставление)

Формируется выборка управленческих и технологических стандартов и соответствующих отраслевых профилей; для каждого стандарта создается карта покрытия по 12 доменам, выполняется разметка UCM и расчет интегральных индексов CCI , MAS и профиля приватности PEF . Для *CALS/PLM*, *BIM/IFC* и мобильного обучения выполняется мэппинг требований профилей на контролы защиты данных и приватности (классификация/маркировка, управление сроками хранения, шифрование, аудит доступа), с фиксацией специфических атрибутов домена; для блокчейн-кейса дополнительно включаются требования к неизменяемости журналов, управлению ключами и верификации смарт-контрактов [10; 12–14]. Для сценариев с ИИ учитываются источник данных, смещения и трассируемость (*data lineage*), а также документы и процедуры, подтверждающие качество и происхождение датасетов [8].

Верификация управленческой интеграции проводится через модели зрелости и практики объединения управленческих и технологических стандартов (сопоставление областей ответственности, процессов *PDCA*, метрик и аудиторских артефактов); дополнительно оценивается согласованность терминологии и распределение ролей в смешанных контурах (информационная безопасность, приватность, *DevSecOps*) [1; 5]. Юрико-техническая при-

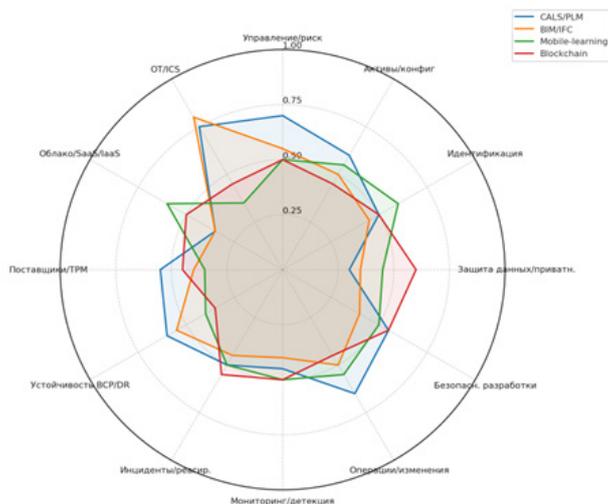


Рис. 1. Радар-диаграммы покрытия доменов для профилей CALS/PLM, BIM/IFC, mobile-learning, blockchain [10; 12–14]

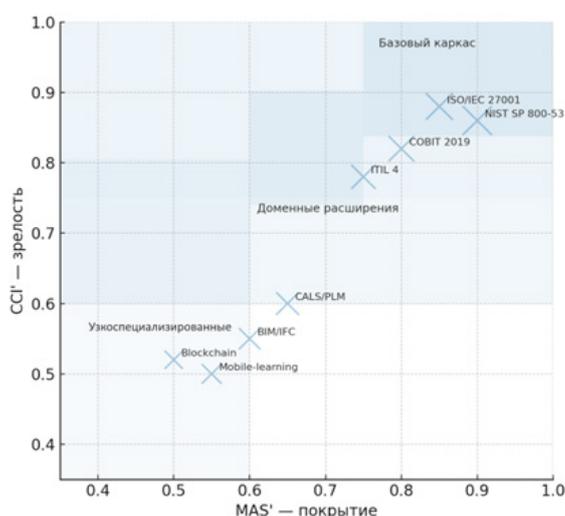


Рис. 2. Тепловая карта «покрытие × зрелость» по управленческим и технологическим стандартам [1; 4; 5]

менность проверяется на уровне национальных профилей и модельных актов: сопоставляются формулировки требований, механизмы доказуемости и процедуры документирования электронных процессов [6]. Межгосударственная совместимость оценивается по материалам координации стандартов и практик в рамках межстрановой стандартизации, с выделением элементов, обеспечивающих взаимное признание процедур и терминологическую унификацию [3].

Процедура измерений включает: двойную независимую разметку UCM с метрикой согла-

сия экспертов; нормирование весов доменов и контролей; построение тепловых карт «покрытие × зрелость» и радар-диаграмм по профилям; проверку чувствительности индексов к вариациям весов и качеству локализации (коэффициент перевода применяется как корректирующий множитель к зрелости/покрытию при наличии терминологических расхождений) [4; 11].

Результаты

Оси – 12 доменов. Значения: DCs, d (0–1).

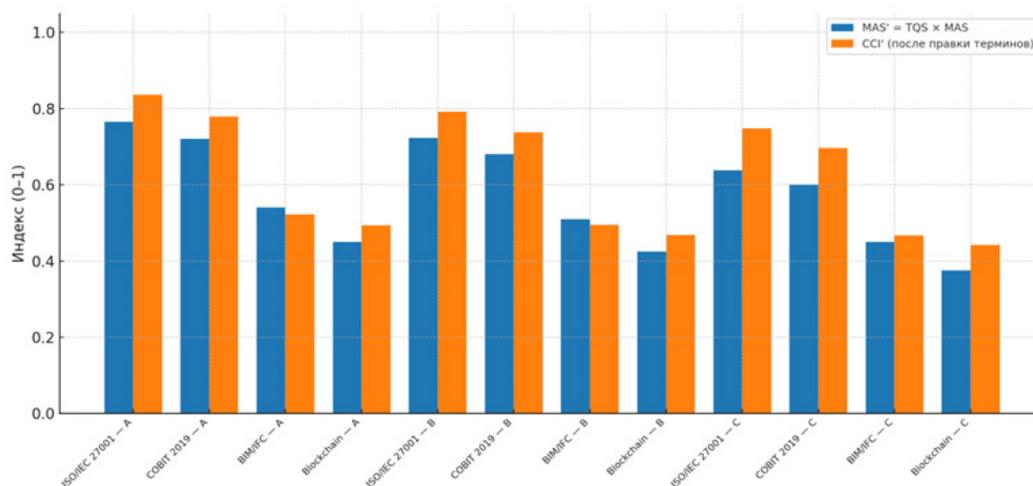


Рис. 3. Влияние качества перевода и терминологической согласованности на применимость требований (сценарии локализации) [11]

Подписи: ключевые контролы домена; легенда: стандарты/профили.

Цель – визуально сравнить баланс покрытия по доменам и выявить провалы (например, слабая приватность у инженерных профилей или слабый *OT* у образовательных).

Оси: X – $MASs'$, Y – $CCIs'$; цвет/размер маркера: $PEFs$ или доля облачных/*OT*-контролей.

Зоны: «базовый каркас», «доменные расширения», «узкоспециализированные».

Цель – выделить стандарты, требующие комплементарных профилей.

Сценарии: A – $TQS \geq 0,9$ (близко к оригиналу), B – $0,8 \leq TQS < 0,90$, C – $TQS < 0,8$.

Показатели: $MASs' = TQS$, $CCIs'$ после пересчета $ms, km'_{s, k}$.

Графика: столбчатые сравнения $A/B/C$ по каждому стандарту; аннотации с примерами терминов, вызвавших снижение TQS .

Артефакты воспроизводимости: чек-листы разметки *UCM*; словарь контролей и шкал; шаблоны расчета экономических метрик ($T = 5$ лет, $r = 10\%$ – по умолчанию); журналы согласования экспертов (*Cohen's kappa*).

Обсуждение

Управленческие стандарты обеспечивают целостность процессов, роли и метрики, однако часто формулируются на уровне принципов и требуют доменных расширений для технической верификации; технологические профили, напротив, дают детальные контрольные

процедуры, но без встроенной управленческой «обвязки» хуже масштабируются между подразделениями. Наилучшие результаты достигаются при интеграции: управленческий каркас фиксирует политику, цикл *PDCA* и распределение ответственности, а технологические стандарты закрывают конкретные риски по доменам *IAM*, *DevSecOps*, мониторинга и устойчивости [1; 4].

Межгосударственная унификация и модельные кодексы снижают транзакционные издержки трансграничных проектов: согласуются терминология, форматы доказательств соответствия и процедуры аудита, появляется правовая определенность для обмена данными и электронных процессов. Это особенно важно при переносе практик между юрисдикциями и при сертификации поставщиков в глобальных цепочках [3; 6].

Новые требования к качеству данных и приватности, а также к системам ИИ расширяют поле стандартизации: необходимы формализованные атрибуты происхождения данных, метрики репрезентативности и устойчивости к смещениям, процедуры документирования датасетов и моделей, а также механизмы объяснимости и управляемости алгоритмов в продакшене [8; 9].

Профилирование под блокчейн-процессы требует отдельных контролей к неизменяемости журналов, управлению криптографическими ключами и аудиту смарт-контрактов; различия подходов в юрисдикциях влияют на набор обя-

зательных доказательств и на интеграцию с финансовой инфраструктурой, что следует учитывать при выборе портфеля стандартов [10].

Экономические факторы становятся ключевым критерием приоритизации: применение SMART-стандартов и явных KPI снижает стоимость контроля, упрощает расчет ожидаемого снижения потерь и позволяет ранжировать инициативы по NPV/IRR с учетом бюджетных ограничений и зрелости процессов, что делает соответствие управляемым и воспроизводимым на уровне предприятия [15].

Выводы и рекомендации

Рекомендуется стратегия «базовый управленческий каркас + отраслевые/технологические расширения»: закрепить *baseline* управления (политики, роли/RACI, реестр активов и рисков, цикл PDCA, метрики и аудит), выполнить картирование требований через UCM с выявлением разрывов по 12 доменам, зафиксировать веса доменов и KPI, а также учитывать качество

локализации стандартов (TQS) при интерпретации и аудите применимости требований [1; 2; 4; 5; 11]. Для доменов ИИ, BIM/IFC, CALS/PLM, mobile-learning и блокчейн необходимы специализированные профили: происхождение и качество данных, fairness/traceability и документация моделей для ИИ; правила валидации и прослеживаемости цифровых объектов для BIM/IFC; сквозной конфигурационный менеджмент и совместимость данных для CALS; приватность обучающихся, управление устройствами и безопасная доставка контента для mobile-learning; неизменяемость журналов, управление ключами и аудит смарт-контрактов для блокчейна [8; 10; 12–14]. Портфель внедрения формируется риск-ориентированно и экономически оптимально: для каждого стандарта/профиля оцениваются ΔLE , *Scap*, *Cor* и *Caudit*, рассчитываются NPV/IRR , проводятся анализ чувствительности и приоритизация по ограничению бюджета; дорожная карта – пилот (3–6 месяцев), масштабирование по доменам с контрольными точками и ежегодной перекалибровкой индексов покрытия и зрелости [7; 15].

Список литературы

1. Камолов, С.Г. Особенности интеграции управленческих и технологических стандартов в условиях цифровой трансформации / С.Г. Камолов, Д.Б. Алексеев, Н.Д. Александров // Вопросы управления. – 2025. – Т. 19. – № 2. – С. 99–116.
2. Антонова, И.И. Тенденции стандартизации инновационных отечественных ИКТ-решений / И.И. Антонова, Н.С. Селиверстова // Компетентность. – 2025. – № 5. – С. 8–13.
3. Бутырев, Ю.И. СНГ и МГС – 33 года по единым стандартам / Ю.И. Бутырев, Ю.В. Будкин // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 2(83). – С. 4–10.
4. Барыкин, А.Н. Прикладные аспекты методологии мультимодальной национальной стандартизации / А.Н. Барыкин // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 3(84). – С. 59–66.
5. Князев, А.В. Совершенствование методов оценки цифровой зрелости на основе применения стандартов в области управления активами / А.В. Князев, Ю.В. Будкин // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 3(84). – С. 10–17.
6. Довгань, К.Е. Юридико-техническая характеристика Модельного информационного кодекса для государств-участников СНГ / К.Е. Довгань, Е.И. Бахтеева, А.В. Каленых // Право и государство: теория и практика. – 2025. – № 5. – С. 61–71.
7. Газарян, Н.В. Практические аспекты стандартизации деятельности по управлению рисками и возможностями в системе менеджмента отечественных предприятий / Н.В. Газарян // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 1(82). – С. 29–38.
8. Лопатин, И.Н. Многоуровневые системы качественных данных на основе моделей искусственного интеллекта: проблемы и решения / И.Н. Лопатин // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 1(82). – С. 70–75.
9. Малешина, Л.М. Искусственный интеллект: правовые и этические аспекты регулирова-

- ния / Л.М. Малешина, И.И. Шатская // Аграрное и земельное право. – 2025. – № 6. – С. 29–37.
10. Никитин, А.В. Сравнение подходов к развитию блокчейн-технологий в Российской Федерации и Китайской Народной Республике / А.В. Никитин // Экономика. Налоги. Право. – 2025. – Т. 15. – № 2. – С. 71–79.
11. Горшкова, В.Е. Оценка качества перевода стандартов в Российской Федерации / В.Е. Горшкова, А.П. Кузнецова // Вестник ПНИПУ. Проблемы языкознания и педагогики. – 2025. – № 2. – С. 37–47.
12. Круглова, Ю.В. Интегрированный подход к стандартизации при внедрении CALS-технологий / Ю.В. Круглова // Компетентность. – 2025. – № 4. – С. 11–15.
13. Криони, И.Н. Обеспечение качества BIM-моделей в автоматизированном проектировании с использованием формата IFC / И.Н. Криони // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 4(85). – С. 56–63.
14. Тихомирова, В.Д. Цифровая трансформация и стандартизация для обеспечения качества процессов мобильного обучения / В.Д. Тихомирова // Компетентность. – 2025. – № 4. – С. 24–33.
15. Астахов, С.А. Экономические аспекты повышения эффективности полигонных испытаний авиационной техники (на основе разработки и внедрения SMART-стандартов) / С.А. Астахов, Н.Н. Швец // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 1(82). – С. 52–56.

References

1. Kamolov, S.G. Osobennosti integratsii upravlencheskikh i tekhnologicheskikh standartov v usloviyakh tsifrovoy transformatsii / S.G. Kamolov, D.B. Alekseyev, N.D. Aleksandrov // Voprosy upravleniya. – 2025. – Т. 19. – № 2. – С. 99–116.
2. Antonova, I.I. Tendentsii standartizatsii innovatsionnykh otechestvennykh IKT-resheniy / I.I. Antonova, N.S. Seliverstova // Kompetentnost'. – 2025. – № 5. – С. 8–13.
3. Butyrev, YU.I. SNG i MGS – 33 goda po yedinyim standartam / YU.I. Butyrev, YU.V. Budkin // Informatsionno-ekonomicheskiye aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. – 2025. – № 2(83). – С. 4–10.
4. Barykin, A.N. Prikladnyye aspekty metodologii mul'timodal'noy natsional'noy standartizatsii / A.N. Barykin // Informatsionno-ekonomicheskiye aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. – 2025. – № 3(84). – С. 59–66.
5. Knyazev, A.V. Sovershenstvovaniye metodov otsenki tsifrovoy zrelosti na osnove primeneniya standartov v oblasti upravleniya aktivami / A.V. Knyazev, YU.V. Budkin // Informatsionno-ekonomicheskiye aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. – 2025. – № 3(84). – С. 10–17.
6. Dovgan', K.Ye. Yuridiko-tekhnicheskaya kharakteristika Model'nogo informatsionnogo kodeksa dlya gosudarstv-uchastnikov SNG / K.Ye. Dovgan', Ye.I. Bakhteyeva, A.V. Kalonykh // Pravo i gosudarstvo: teoriya i praktika. – 2025. – № 5. – С. 61–71.
7. Gazaryan, N.V. Prakticheskiye aspekty standartizatsii deyatelnosti po upravleniyu riskami i vozmozhnostyami v sisteme menedzhmenta otechestvennykh predpriyatiy / N.V. Gazaryan // Informatsionno-ekonomicheskiye aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. – 2025. – № 1(82). – С. 29–38.
8. Lopatin, I.N. Mnogourovnevyye sistemy kachestvennykh dannykh na osnove modeley iskusstvennogo intellekta: problemy i resheniya / I.N. Lopatin // Informatsionno-ekonomicheskiye aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. – 2025. – № 1(82). – С. 70–75.
9. Maloshina, L.M. Iskusstvennyy intellekt: pravovyye i eticheskiye aspekty regulirovaniya / L.M. Maloshina, I.I. Shatskaya // Agrarnoye i zemel'noye pravo. – 2025. – № 6. – С. 29–37.
10. Nikitin, A.V. Sravneniye podkhodov k razvitiyu blokcheyn-tekhnologiy v Rossiyskoy Federatsii i Kitayskoy Narodnoy Respublike / A.V. Nikitin // Ekonomika. Nalogi. Pravo. – 2025. – Т. 15. – № 2. – С. 71–79.
11. Gorshkova, V.Ye. Otsenka kachestva perevoda standartov v Rossiyskoy Federatsii / V.Ye. Gorshkova, A.P. Kuznetsova // Vestnik PNIPIU. Problemy yazykoznaneya i pedagogiki. – 2025. –

№ 2. – С. 37–47.

12. Kruglova, YU.V. Integrirovanny podkhod k standartizatsii pri vnedrenii CALS-tehnologiy / YU.V. Kruglova // *Kompetentnost'*. – 2025. – № 4. – С. 11–15.

13. Krioni, I.N. Obespecheniye kachestva BIM-modeley v avtomatizirovannom proyektirovanii s ispol'zovaniyem formata IFC / I.N. Krioni // *Informatsionno-ekonomicheskiye aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya*. – 2025. – № 4(85). – С. 56–63.

14. Tikhomirova, V.D. Tsifrovaya transformatsiya i standartizatsiya dlya obespecheniya kachestva protsessov mobil'nogo obucheniya / V.D. Tikhomirova // *Kompetentnost'*. – 2025. – № 4. – С. 24–33.

15. Astakhov, S.A. Ekonomicheskiye aspekty povysheniya effektivnosti poligonnykh ispytaniy aviatsionnoy tekhniki (na osnove razrabotki i vnedreniya SMART-standartov) / S.A. Astakhov, N.N. Shvets // *Informatsionno-ekonomicheskiye aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya*. – 2025. – № 1(82). – С. 52–56.

© А.В. Рубин, Д.С. Серезлеев, О.В. Колосова, 2025

УДК 658.58

И.Д. СИДЕЛЬНИКОВ, Т.Ю. КРУТОВ

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В СИСТЕМАХ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: обслуживание по состоянию; организационно-технические факторы; остаточный ресурс; предиктивное обслуживание; техническое обслуживание и ремонт.

Аннотация. В статье анализируется влияние организационно-технических факторов на эффективность предиктивного обслуживания промышленного оборудования. Целью исследования является обоснование значимости организационно-технических факторов при переходе от планово-предупредительного ремонта к обслуживанию по состоянию. Гипотеза исследования заключается в том, что учет организационно-технических факторов позволяет повысить надежность оборудования и готовность системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Задачами исследования являются уточнение классификации организационно-технических факторов и анализ характера их влияния на надежность оборудования на основе экспертной оценки. Получены результаты, заключающиеся в расширенной классификации организационно-технических факторов, ранжировании степени их влияния на надежность эксплуатируемого оборудования и обосновании необходимости включения факторов в гибридные модели предиктивного обслуживания.

В современных условиях цифровизации промышленности выбор стратегии обслуживания оборудования становится ключевым фактором конкурентоспособности компаний и корпораций, эксплуатирующих промышленное оборудование. Традиционными парадигмами обслуживания оборудования были: реактивное обслуживание и планово-предупредительный ремонт (ППР), основанный на регламентных интервалах времени или наработки. Подход на

основе ППР приводил либо к преждевременной замене еще работоспособных компонентов, либо к позднему вмешательству и к дорогостоящему реактивному ремонту. Как отмечено в работе [1], по результатам крупных исследований отказов техники, проведенных американской авиакомпанией *United Airlines*, оказалось, что показатель наработки компонентов не коррелирует с частотой отказов. В среднем для 77–92 % случаев отказов техники не существует никакой взаимосвязи со сроком эксплуатации.

С развитием систем телеметрии, технологий интернета вещей, средств сбора и обработки больших данных сформировалась альтернативная парадигма: обслуживание по состоянию (*Condition based maintenance – CBM*), в частности предиктивное обслуживание (*Predictive maintenance – PdM*). В парадигме обслуживания по состоянию решения о проведении ремонтных работ принимаются на основе оценки фактического технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса оборудования с использованием данных телеметрии, эксплуатационных параметров и параметров среды, а также методов статистического анализа и машинного обучения. Исследования применения парадигмы *CBM/PdM* демонстрируют, что такой тип обслуживания обеспечивает компромисс между частотой ремонтных работ, затратами на ремонт и потерями от простоя. В конечном итоге это позволяет одновременно снижать суммарные эксплуатационные расходы и повышать надежность техники. Для высокозатратных отраслей, где доля расходов на эксплуатацию и ремонт достигает 20–70 % от совокупных издержек, переход к модели обслуживания по состоянию рассматривается как одно из ключевых направлений повышения эффективности и устойчивого развития в концепции «Индустрии 4.0» [3; 4].

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение предиктивного обслуживания сопровождается некоторыми проблемами, которые препятствуют широкому распространению универсальных решений *PdM*. Ключевыми из них являются:

- необходимость надежной, масштабируемой системы сбора и обработки данных, обеспечивающей высокое качество и непрерывность измерений в жестких эксплуатационных условиях;

- неполнота, зашумленность и гетерогенность промышленных данных;

- ограниченная переносимость моделей между различными объектами и системами, приводящая к неоднородности решений и высокой стоимости их адаптации [2].

Эти проблемы создают неопределенность прогнозов для сложных систем, снижают степень доверия и интерпретируемости моделей искусственных нейронных сетей (**ИНС**) и машинного обучения (**МО**), а также ставят задачи интеграции предиктивной аналитики с существующими бизнес-процессами и системами управления производством.

В качестве одной из форм верификации и адаптации прогнозов могут использоваться организационно-технические факторы (**ОТФ**) эксплуатационной среды, представляющие собой совокупность управленческих, кадровых и инфраструктурных параметров, в рамках которых реализуются процессы технического обслуживания и ремонта оборудования [5]. В отличие от технических характеристик изделий, организационные факторы не описывают физическое состояние узлов напрямую, однако именно они определяют возможность практической реализации прогнозов остаточного ресурса и своевременного выполнения ремонтных мероприятий. В контексте обслуживания по состоянию организационные факторы выступают элементом, обеспечивающим согласование прогностических выводов с реальными производственными возможностями предприятия.

Организационно-технические факторы целесообразно рассматривать как параметры эксплуатационной системы, влияющие на надежность и ремонтпригодность опосредованно через качество организационных решений, уровень регламентирования процессов и готовность ресурсов. Их учет позволяет перейти от изолированного прогноза отказов к оценке эксплуатационной готовности системы техничес-

кого обслуживания и ремонта (**ТОиР**).

Рассмотрим организационно-технические факторы среды эксплуатации в виде следующих групп [5].

1. Группа факторов «Стандартизация/унификация и агрегатирование».

Данная группа факторов отражает уровень унификации компонентов, модульность конструкции и агрегатирование узлов. Высокая степень унификации снижает организационную сложность обслуживания за счет сокращения номенклатуры запасных частей и упрощения планирования поставок. Модульная структура изделий позволяет организовывать ремонт по принципу быстрой замены функциональных блоков, минимизируя простой оборудования. Получение значений факторов осуществляется на основе анализа конструкторской документации, а также каталогов запасных частей.

2. Группа факторов «Квалификация персонала».

Факторы группы характеризуют способность персонала корректно оценивать диагностическую информацию и реализовывать предписанные обслуживающие воздействия. Уровень квалификации ремонтного персонала напрямую влияет на точность диагностики, соблюдение регламентов и качество технического обслуживания. К основным показателям относятся квалификационный уровень специалистов, стаж работы с конкретными типами оборудования, а также параметры повышения квалификации для работы с новыми типами оборудования. Значения факторов формируются на основе учета квалификаций, программ обучения и результатов оценки компетенций. В прогнозных моделях значения группы могут применяться для корректировки вероятностей ошибок обслуживания, уточнения временных параметров ремонта и оценки рисков, связанных с человеческим фактором.

3. Группа факторов «Упаковка и транспортирование».

Факторы описывают организацию логистических потоков запасных частей, узлов и материалов, необходимых для проведения ремонтных и профилактических работ. Нарушения в логистическом обеспечении способны нивелировать преимущества предиктивного обслуживания, приводя к задержкам ремонтов. К данной группе относятся показатели качества упаковки и хранения узлов, наличия антикор-

Таблица 1. Степень влияния групп факторов на надежность

Группа факторов	Степень влияния на надежность	Характеристика группы
Группа – «Системы безопасности и диагностики»	Очень высокая	Формирует основу надежности за счет предотвращения отказов, развития средств контроля и учета критичности последствий
Группа – «Условия эксплуатации»	Высокая	Определяет фактический темп износа, частоту ремонтов и корректирует прогнозы остаточного ресурса в зависимости от среды и времени работы
Группа – «Квалификация персонала»	Высокая	Влияет на качество проведения ремонтных операций, соблюдение регламентов и снижение ошибок при обслуживании
Группа – «Упаковка и транспортирование»	Высокая	Обеспечивает сохранность узлов и комплектующих, предотвращает деградацию при хранении и перевозке
Группа – «Стандартизация/ унификация и агрегатирование»	Средняя	Определяет модульность конструкции, доступность узлов и скорость разборки; напрямую влияет на время восстановления техники

розийной защиты, а также степень маркировки и идентификации запасных частей. Существенное значение имеют условия складирования и соблюдение регламентных сроков хранения, влияющие на сохранность эксплуатационных свойств запасных частей. Получение значений логистических факторов осуществляется на основе анализа складских регламентов, а также технической документацией изделий и агрегатов. Значения ОТФ могут использоваться для оценки вероятности скрытых дефектов, прогнозирования задержек ремонта и оптимизации запасов.

4. Группа факторов «Системы безопасности и диагностики».

Факторы группы определяют уровень защищенности оборудования и персонала, а также степень развития диагностических методов и систем предприятия ТОиР. К числу ключевых факторов относятся наличие средств защиты персонала, систем блокировки и сигнализации, степень автоматизации систем поиска неисправностей и систем мониторинга. Особое место занимает фактор критичности отказа, который интерпретируется как показатель, определяющий приоритетность ремонтных работ и возможность отложенного ремонта. ОТФ группы систем безопасности формируются на основе регламентов, анализа диагностического оснащения и результатов проведения анализа видов

и последствий отказов (АВПКО). Их применение направлено на ранжирование ремонтных мероприятий и обеспечение качественной диагностики неисправностей на всех этапах жизненного цикла техники.

5. Группа факторов «Условия эксплуатации».

ОТФ условий эксплуатации отражают особенности фактического использования оборудования и режимов его работы. Факторы отражают характеристики внешнего окружения и внутреннего качества изделий и деталей. К ОТФ группы относятся: суммарное время эксплуатации оборудования, количество и качество проведенных ремонтов, интервалы между обслуживающими воздействиями и соблюдение эксплуатационных регламентов. Эти факторы носят динамический характер и изменяются по мере накопления эксплуатационного опыта. Источниками информации служат эксплуатационные журналы, системы управления техническим обслуживанием и результаты технических осмотров. В прогнозных моделях факторы условий эксплуатации используются для адаптации интервалов обслуживания и уточнения темпов деградации оборудования.

По степени влияния на надежность эксплуатируемой техники группы факторов можно расположить следующим образом в табл. 1.

Интеграция организационных факторов в

модели прогнозирования остаточного ресурса позволит учитывать не только физическую деградацию оборудования, но и ограничения, накладываемые организационной средой. Формализуемые показатели и группы факторов включаются в расчет в виде коэффициентов и весовых множителей, тогда как качественные факторы учитываются посредством экспертных

оценок и нечетких моделей.

Таким образом, анализ организационно-технических факторов формирует основу для оценки эксплуатационной готовности и обеспечивает переход от формального прогнозирования отказов к гибридной методологии управления процессами технического обслуживания и ремонта.

Список литературы

1. Антоненко, И.Н. Информационные системы и практики ТОиР: этапы развития / И.Н. Антоненко, И.Э. Крюков // Главный энергетик. – 2011. – № 10. – С. 37–44.
2. Брюхова, А.А. Проблемы предиктивной диагностики и аналитики / А.А. Брюхова, Т.Н. Костюнина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 335–338.
3. Лисовский, А.Л. Оптимизация бизнес-процессов для перехода к устойчивому развитию в условиях четвертой промышленной революции / А.Л. Лисовский // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 4(107). – С. 10–18.
4. Озеров, А.В. Предиктивная аналитика с использованием Data Science на железнодорожном транспорте / А.В. Озеров, А.М. Ольшанский, А.П. Куроптева. – 2020.
5. Сидельников, И.Д. Особенности конструкции и обслуживания техники как ключевые факторы логистики при создании цепей поставок в машиностроении / И.Д. Сидельников, А.С. Барабушка, А.Е. Бром // Логистика и управление цепями поставок. – 2017. – № 4. – С. 33–40.

References

1. Antonenko, I.N. Informatsionnyye sistemy i praktiki TOiR: etapy razvitiya / I.N. Antonenko, I.E. Kryukov // Glavnyy energetik. – 2011. – № 10. – S. 37–44.
2. Bryukhova, A.A. Problemy prediktivnoy diagnostiki i analitiki / A.A. Bryukhova, T.N. Kostyunina // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. – 2023. – № 7. – S. 335–338.
3. Lisovskiy, A.L. Optimizatsiya biznes-protsessov dlya perekhoda k ustoychivomu razvitiyu v usloviyakh chetvertoy promyshlennoy revolyutsii / A.L. Lisovskiy // Strategicheskiye resheniya i risk-menedzhment. – 2018. – № 4(107). – S. 10–18.
4. Ozerov, A.V. Prediktivnaya analitika s ispol'zovaniyem Data Science na zheleznodorozhnom transporte / A.V. Ozerov, A.M. Ol'shanskiy, A.P. Kuropteva. – 2020.
5. Sidel'nikov, I.D. Osobennosti konstruktсии i obsluzhivaniya tekhniki kak klyuchevyye faktory logistiki pri sozdaniy tsepey postavok v mashinostroyenii / I.D. Sidel'nikov, A.S. Barabushka, A.Ye. Brom // Logistika i upravleniye tsepyami postavok. – 2017. – № 4. – S. 33–40.

© И.Д. Сидельников, Т.Ю. Крутов, 2025

УДК 065. 004

А.А. ГУДКОВ, Л.В. ГЛУХОВА

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса», г. Тольятти

МОДЕЛЬ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМАНДЫ ИТ-ПРОЕКТА И ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Ключевые слова: математическая модель управления; методика решения задач согласованного управления; одноуровневое взаимодействие; проектное управление.

Аннотация. Внедрение результатов интеллектуальной деятельности команды исполнителей при разработке нового ИТ-проекта всегда сопряжено с рисками возникновения непредвиденных ситуаций, которые могут существенно увеличить затраты проектной деятельности. Хотя сегодня существует много подходов, способствующих улучшению процессов управления всеми стадиями разработки проекта, актуальным остается вопрос о согласованном взаимодействии команды исполнителей. Недостаточность методического описания вопросов согласованности проектной деятельности обосновывает актуальность темы исследования и ее выбор. В статье показана возможность разработки методики управления согласованным взаимодействием решения задач, основанной на теории активных систем.

Введение

Развитие процессов проектного управления требует поиска новых оптимальных механизмов, которые минимизируют неопределенность внешней среды и способствуют принятию эффективных управленческих решений. Одним из таких решений является управление согласованным взаимодействием команды исполнителей проекта. Это предполагает совместную многофункциональную работу специалистов разного уровня для достижения решений поставленных целевых задач. Согласованное взаимодействие включает обмен знаниями, навыками и идеями, а также решение проблем, часто

выходящих за рамки одной профессиональной специализации.

Недостаточность имеющихся подходов в области согласованного взаимодействия команды исполнителей ИТ-проектов позволила сформулировать научную проблему исследования в следующем виде: какова должна быть модель согласованного взаимодействия команды исполнителей инновационного проекта, если применить для моделирования аппарат кооперативных игр?

Анализ научной литературы в этой области показал, что согласованное взаимодействие исследуется многими авторами с разных сторон.

Н.Н. Пачина, например, рассматривает согласованность взаимодействия за счет сформированности у членов команды транспрофессиональной компетентности [1].

В.В. Строев, К.В. Сиренко, А.И. Тихонов в работе [2] считают командный коучинг одной из обязательных составляющих создания высокоэффективных команд.

Возможность согласованного взаимодействия участников гетерогенного коллектива предлагают исследователи К.Ч. Бжихатлов, И.А. Пшенокова, О.В. Нагоева [3], учитывая нейрокогнитивные модели согласованного поведения.

Авторы публикации рассматривают возможность управления знаниями коллектива исполнителей проекта за счет интеллектуальных информационно-аналитических систем, считая важными процессы мониторинга базы знаний, их полноту и актуальность [4].

Учитывая выводы В.Д. Богатырева, который многоаспектно изучал экономические механизмы согласованного взаимодействия [5], используя аппарат теории игр, представленные ниже авторские решения опирались в основном на его подходы.

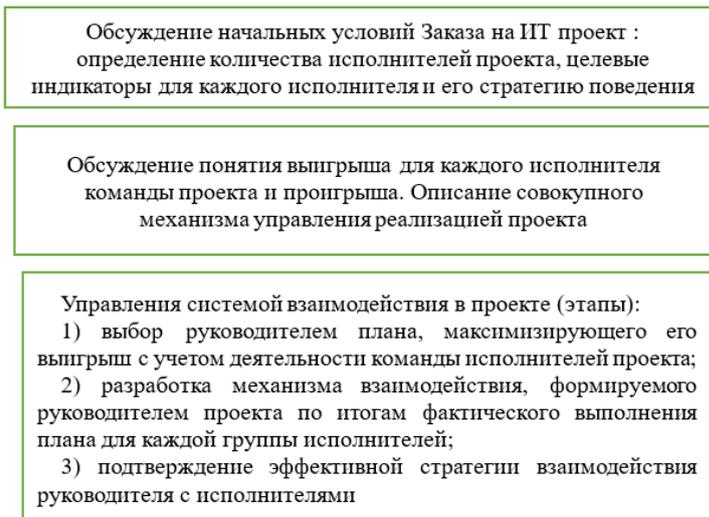


Рис. 1. Формирование механизма управления в одноуровневой экономической системе

$$\begin{cases} \operatorname{argmax}_{\varphi \in \Lambda} (of_k, Y) \\ of_k = \alpha_k + \Delta of_k(\rho_k, \varphi_k, \alpha_k), \\ Y = Y(\vec{\alpha}) + \Delta Y(\vec{\rho}, \vec{\varphi}, \vec{\alpha}), \\ \varphi_k = \varphi_k(\rho_k, \alpha_k), \\ \vec{\varphi} = \{\varphi_k\}, \varphi_k \in \Lambda_k, \\ \vec{\rho} = \{\rho_k\}, \rho_k \in SET_k, \\ \vec{\alpha} = \{\alpha_k\}, \alpha_k \in SET_k. \end{cases} \quad (1)$$

Рис. 2. Модели управления реализацией проекта

Результаты исследования

Была рассмотрена деятельность компании, которая занимается разработкой заказных инновационных ИТ-проектов. На предпроектной стадии обсуждения Заказа на проектирование принимается решение о стоимости затрат на проект [6]. Команда исполнителей проекта, приступая к его разработке, вступает во взаимодействие друг с другом и получает ограничения по срокам, объему задач и суммарному объему стимулирующих выплат. Отметим, что согласно выводам [5] среди исполнителей проекта можно выделить одно лицо, которое является системообразующим (условно это может быть руководитель проекта как наиболее квалифицированный и имеющий опыт работы сотрудник), так как с ним взаимодействуют все исполнители заказа на проект, учитывая связанность с общим на всех ограничением по выплатам за

согласованное завершение проекта. Руководитель заказного проекта имеет право в некотором случае изменить существующие условия контракта. Тогда изменения затронут всех участников проекта. Поэтому ниже была предложена модель управления взаимодействием коллектива исполнителей при реализации задач проекта, обеспечивающих устойчивость системного решения в новом состоянии в переходе к новым условиям Заказа. Следует отметить, что среди таких команд исполнителей заказных проектов принято рассматривать деятельность коллектива с учетом трансферабельной полезности, где последнее означает возможность перераспределения или передачи выигрыша между членами команды исполнителей в рамках реализуемого проекта. При этом исполнители могут объединяться между собой и договариваться о том, как будет делиться общий выигрыш.

Модель управления взаимодействием в од-

ноуровневой системе с трансферабельной полезностью имеет следующий вид (рис. 1).

Представленная совокупность аналитических моделей отражает работу руководителя IT-проекта со всеми группами исполнителей проекта и формирует для каждой группы оптимальный план (рис. 2):

$$(\operatorname{argmax}_{\vec{\varphi}_j \in \Psi} (of_{ij}, Y), 1).$$

Введем пояснения к модели (1). «Здесь SET_k – множество допустимых значений состояний для k -го исполнителя; $\rho_k \in SET_k$ – плановые состояния k -го исполнителя; $\alpha_k \in SET_k$ – фактические состояния k -го исполнителя; $\vec{\rho} = (\rho_1, \dots, \rho_k, \dots, \rho_K) \in SET$ – вектор плановых состояний исполнителей проекта; $\vec{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_k, \dots, \alpha_K)$ – вектор фактических состояний исполнителей проекта, $\vec{of}(\alpha) = (of(\alpha_1), \dots, of(\alpha_k), \dots, of(\alpha_K))$, где $\vec{of} \in OF$ – вектор целевых функций исполнителей проекта и допустимое множество его значений; $\varphi_k(\rho_k, \alpha_k) \in \Lambda_k$ – стимулирующее воздействие, получаемое k -ым исполнителем, и допустимое множество функций; $\vec{\varphi}(\rho, \alpha) = (\varphi_1(\rho_1, \alpha_1), \dots, \varphi_k(\rho_k, \alpha_k))$, где $\vec{\varphi} \in \Lambda$ – вектор стимулирующих воздействий; $\Delta of_k(\rho_k, \varphi_k, \alpha_k)$ – изменение целевой функции k -го исполнителя, вызванное стимулирующим воздействием; $of_k(\alpha_k, \rho_k, \varphi_k) \in OF_k$ – целевая функция k -го исполнителя и допустимая область ее значений» [7].

Целевая функция руководителя IT-проекта в условиях описанной модели представляет собой максимизацию чистого эффекта от изменения состояния деятельности команды исполнителей (за вычетом затрат на стимулирующие воздействия).

P – допустимое множество механизма взаимодействия в системе, определяемое плановым заданием и стимулирующими воздействиями.

$E(\rho, \varphi) \in P$ – механизм взаимодействия в системе, определяемый плановым заданием и стимулирующими воздействиями, и его допустимое множество P ; $\rho^* \in Y(\vec{\rho}) \subseteq \Omega$ – план, который должны обеспечить Агенты (активные).

$$P(\rho^*, of) = \left\{ E(\rho^*, \varphi) \in P \mid \begin{array}{l} \varphi_k(\rho^*, \alpha) \in \Lambda \\ \Lambda(\rho^*, of) \subseteq \Lambda \end{array} \right\}$$

является множеством механизмов взаимодействия активных Агентов для обеспечения плана ρ^* , что помогает им получить величины дополнительного эффекта $\Delta of_k(\rho_k, \varphi_k, \alpha_k)$, превышаю-

щие их потери при выполнении плана ρ^* .

$\Lambda(\rho^*, of) = \prod_k \Lambda_k(\rho_k^*, of_k)$ – множество стимулирующих воздействий в системе.

$$\Lambda_k(\rho_k^*, of_k) = \left\{ \varphi_k(\rho_k^*, \alpha_k) \in \Lambda_k \mid \begin{array}{l} \forall \alpha_k \in SET_k \\ \Delta of_k(\rho_k^*, \varphi_k, \alpha_k) \geq \\ \geq \Delta j_k(\rho_k^*) \end{array} \right\}$$

является множеством стимулирующих воздействий, обеспечивающим максимум целевой функции активного k -го Агента.

$\Delta T(\rho^*) \geq \Delta Y(\rho^*, \vec{\varphi}, \vec{\alpha})$ условия согласованного воздействия в системе, когда величина общего эффекта была не меньше изменения целевой функции Центра, вызванного стимулированием Агентов при реализации оптимального плана ρ^* .

$$P(\rho^*, of, Y) =$$

$$\left\{ E(\rho^*, \varphi) \in P \mid \begin{array}{l} \varphi_k(\rho^*, \alpha) \in \Lambda \\ \Lambda(\rho^*, of, Y) \subseteq \Lambda \end{array} \right\},$$

где

$$\Lambda(\rho^*, of, Y) =$$

$$\left\{ \varphi(\rho^*, \varphi) \in \Lambda \mid \begin{array}{l} \forall \alpha \in SET \\ \Delta T(\rho^*) \geq \Delta Y(\rho^*, \vec{\varphi}, \vec{\alpha}) \end{array} \right\}$$

является совокупностью множеств, из которых Центр должен выбирать механизмы взаимодействия для того, чтобы дополнительный эффект от согласованного взаимодействия покрывал потери на стимулирование Агентов, где $\Lambda(\rho^*, of, Y)$ – стимулирующие воздействия [8].

$E(\rho^*, \varphi) \in P \cap P(\rho^*, of) \cap P(\rho^*, of, Y) \neq \emptyset$ – условие существования механизмов взаимодействия, учитывающих экономические интересы активных Агентов и Центра.

$$\left\{ \begin{array}{l} \exists \varphi(\rho^*, \vec{\alpha}) \in \Lambda, \rho^* \in Y(\vec{\rho}) \subseteq \Omega: \\ \forall \vec{\alpha} \in SET: \\ \Delta of_k(\rho_k^*, \varphi_k, \alpha_k) \geq \Delta j_k(\rho_k^*), (k = \overline{1, K}) \wedge \\ \wedge \Delta T(\rho^*) \geq \Delta Y(\rho^*, \vec{\varphi}, \vec{\alpha}) \end{array} \right\}$$

выступает условием, при котором механизм взаимодействия в системе $E(\rho^*, \varphi)$ является согласованным по оптимальному плану.

Заключение

Таким образом, применяя аппарат теории

игр на примере одноуровневой многоэлементной игры, обоснованный в работе В.Д. Богатырева [5], можно разработать методику согласованного взаимодействия команды исполнителей ИТ-проекта и свести к минимуму возможные негативные последствия.

Список литературы

1. Пачина, Н.Н. Транспрофессиональная компетентность: структурно-содержательный анализ / Н.Н. Пачина // Человек. Общество. Наука. – 2025 – Т. 6. – № 1 – С. 8–15.
2. Строев В.В. Командный коучинг как инструмент создания высокоэффективных команд / В.В. Строев, К.В. Сиренко, А.И. Тихонов // Естественно-гуманитарные исследования. – 2023. – № 6(50). – С. 658–664.
3. Бжихатлов, К.Ч. Кооперативное взаимодействие участников гетерогенного коллектива автономных агентов с использованием нейрокognитивных моделей согласованного поведения / К.Ч. Бжихатлов, И.А. Пшенокова, О.В. Нагоева // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2023. – № 6(116). – С. 132–141.
4. Гудков, А.А. Управление знаниями исполнителей проекта при разработке интеллектуальных систем / А.А. Гудков // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2025. – № 6(115). – С. 40–50.
5. Гудков, А.А. Прогнозирование эффективности проектной деятельности на основе интеграции подходов бизнес-аналитики и машинного обучения / А.А. Гудков // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2024. – Т. 2. – № 1(53). – С. 27–36.
6. Мунирова, Ю.С. Моделирование системы управления стимулированием научно-педагогических работников вуза / Ю.С. Мунирова, Е.П. Ростова // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. – 2025. – Т. 20. – № 1. – С. 28–41.
7. Богатырев, В.Д. Комбинированная система стимулирования в одноуровневой многоэлементной игре / В.Д. Богатырев // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2006. – № 3(11). – С. 79–83.

References

1. Pachina, N.N. Transprofessional'naya kompetentnost': strukturno-soderzhatel'nyy analiz / N.N. Pachina // Chelovek. Obshchestvo. Nauka. – 2025 – Т. 6. – № 1 – S. 8–15.
2. Stroyev V.V. Komandnyy kouching kak instrument sozdaniya vysokoeffektivnykh komand / V.V. Stroyev, K.V. Sirenko, A.I. Tikhonov // Yestestvenno-gumanitarnyye issledovaniya. – 2023. – № 6(50). – S. 658–664.
3. Bzhikhatlov, K.CH. Kooperativnoye vzaimodeystviye uchastnikov geterogennogo kollektiva avtonomnykh agentov s ispol'zovaniyem neyrokognitivnykh modeley soglasovannogo povedeniya / K.CH. Bzhikhatlov, I.A. Pshenokova, O.V. Nagoyeva // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2023. – № 6(116). – S. 132–141.
4. Gudkov, A.A. Upravleniye znaniyami ispolniteley proyekta pri razrabotke intellektual'nykh sistem / A.A. Gudkov // Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva. – 2025. – № 6(115). – S. 40–50.
5. Gudkov, A.A. Prognozirovaniye effektivnosti proyektnoy deyatelnosti na osnove integratsii podkhodov biznes-analitiki i mashinnogo obucheniya / A.A. Gudkov // Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva. – 2024. – Т. 2. – № 1(53). – S. 27–36.
6. Munirova, YU.S. Modelirovaniye sistemy upravleniya stimulirovaniyem nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov vuza / YU.S. Munirova, Ye.P. Rostova // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Ekonomika. – 2025. – Т. 20. – № 1. – S. 28–41.

7. Bogatyrev, V.D. Kombinirovannaya sistema stimulirovaniya v odnourovnevoy mnogoelementnoy igre / V.D. Bogatyrev // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva. – 2006. – № 3(11). – S. 79–83.

© А.А. Гудков, Л.В. Глухова, 2025

УДК 308

И.В. НИКОЛАЕВА

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск

К ВОПРОСУ О КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЭЛЕКТОРАТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫБОРОВ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Ключевые слова: анализ данных; кластеризация; электорат.

Аннотация. Цель исследования – применение методов анализа данных к изучению современных социальных и политических процессов. Приведены и проанализированы результаты исследований электорального поведения на выборах в Республике Саха (Якутия). Сделан вывод о том, что группы избирателей с традиционно низкой явкой могут демонстрировать повышенную восприимчивость к политической мобилизации при определенных условиях и отсутствии политических предпочтений, что говорит о консолидации общества.

Постановка задачи

Одной из областей, где могут быть эффективно применены методы анализа данных, является электоральная кластеризация – процесс разделения избирателей на группы с общими характеристиками для их изучения и прогнозирования их поведения. Современные выборы сопровождаются большими объемами данных, включая социологические опросы, активность в социальных сетях, архивные данные предыдущих выборов и многое другое. Умение эффективно анализировать эти данные позволяет не только понять текущие тенденции, но и разработать стратегии для политических кампаний.

Поведение электората в современном мире становится все более сложным и многофакторным. Традиционные подходы, основанные на демографических характеристиках, таких как возраст, пол или уровень дохода, в настоящее время не отражают всех особенностей поведения избирателей. Более глубокое понимание мотивации избирателей дают современные мо-

дели, учитывающие их психографические и поведенческие характеристики, в частности, анализ активности пользователей в социальных сетях, а также изучение их интересов, предпочтений и ценностных моделей открывают дополнительные возможности для точной кластеризации. Однако, несмотря на более широкие возможности и современные методы анализа, в отечественной и зарубежной научной литературе до настоящего времени отсутствует унифицированный подход к концептуализации феномена поведения избирателей с точки зрения результатов их голосования.

В настоящей работе объектом исследования являются социальные процессы, связанные с электоральным поведением избирателей, включая результаты выборов, социологические опросы и активность в социальных сетях. Под «электоральным поведением» далее будем подразумевать поведение индивида с точки зрения голосования на избирательном участке.

Основными задачами настоящего исследования являются анализ существующих методов кластеризации электората, изучение возможности применения методов машинного обучения для анализа электоральных данных и алгоритма кластеризации избирателей на основе реальных данных выборного процесса.

Анализ существующих решений

Появление множества новых источников данных в коммерческом секторе (речь идет в первую очередь о социальных сетях), рост доступности собираемых государством данных в некоторых странах, а также успехи в создании новых алгоритмов анализа данных способствовали распространению методов анализа данных в политической науке [1].

Ряд исследователей рассматривает обработку подобных данных как методологиче-

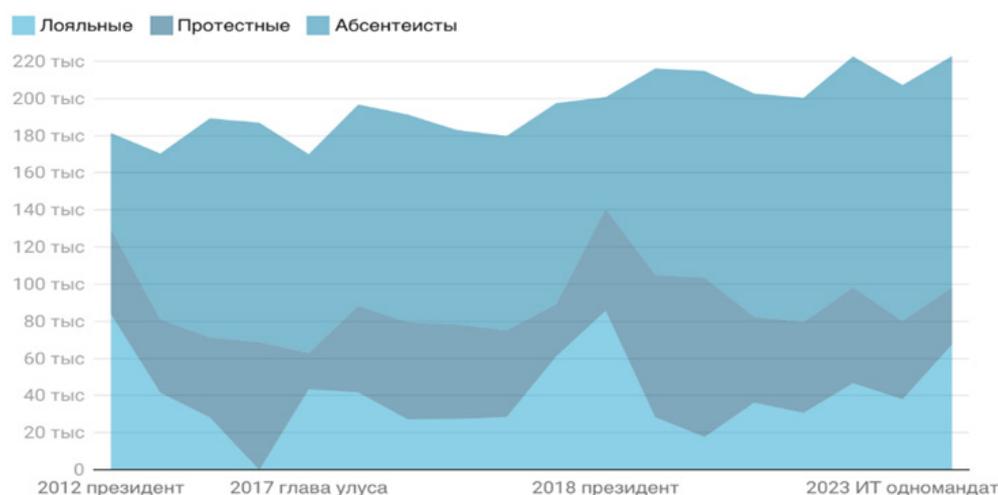


Рис. 1. Динамика электорального поведения в г. Якутске

ский инструмент, способный обеспечить решение широкого спектра исследовательских задач, включая точное прогнозирование социально-политических трендов и разработку научно обоснованных политических рекомендаций.

В источнике [2] разработан инновационный матричный подход к измерению идеологических предпочтений, основанный на анализе масштабных данных из социальных сетей. Авторы исследуют феномен политической поляризации через призму взаимосвязи идеологических установок и структуры социальных взаимодействий.

Данные методологические подходы нашли применение и в исследованиях отечественных авторов. В частности, Ахременко и Петров [3] в своем анализе протестной активности в Беларуси в 2020 г. использовали аналогичные принципы обработки данных социальных сетей. В их исследовании, основанном на анализе наиболее репостируемых публикаций в сети *VK*, была разработана оригинальная методика контент-анализа с привлечением 12 кодировщиков. В результате удалось выделить три ключевых мотивационных фактора участия в протестном движении: эмоциональный компонент (гнев), идентификацию с протестным сообществом и когнитивную оценку эффективности коллективных действий. Данное исследование не только подтвердило эффективность сетевых данных для анализа политического поведения, но и расширило методологический инструментарий изучения протестной активности в условиях

цифровой среды.

Анализ электоральных махинаций с применением методов *Big Data* и машинного обучения представляет собой перспективное направление современных политических исследований.

В научных работах электорат, как правило, разделен на сегменты по социально-демографическим, географическим, психографическим и поведенческим критериям.

Социально-демографический сегмент включает в себя такие факторы, как возраст, пол, образование, доход, профессия, место жительства. Например, пенсионеры чаще голосуют за партии социальной направленности, а молодежь – за прогрессивные движения.

Географическими факторами являются регион проживания, тип населенного пункта (город/село), климатические и экономические особенности. Например, сельские жители могут поддерживать аграрные партии, а жители городов – урбанистические проекты. Психографические (ценностно-мировоззренческие) факторы включают в себя политические убеждения, моральные или духовные ценности, стиль жизни. Например, убежденный сталинист, скорее всего, будет поддерживать коммунистические партии.

Анализ результатов голосования в Республике Саха (Якутия)

В настоящем исследовании автором использованы статистические данные, опубликованные на официальном сайте Центральной

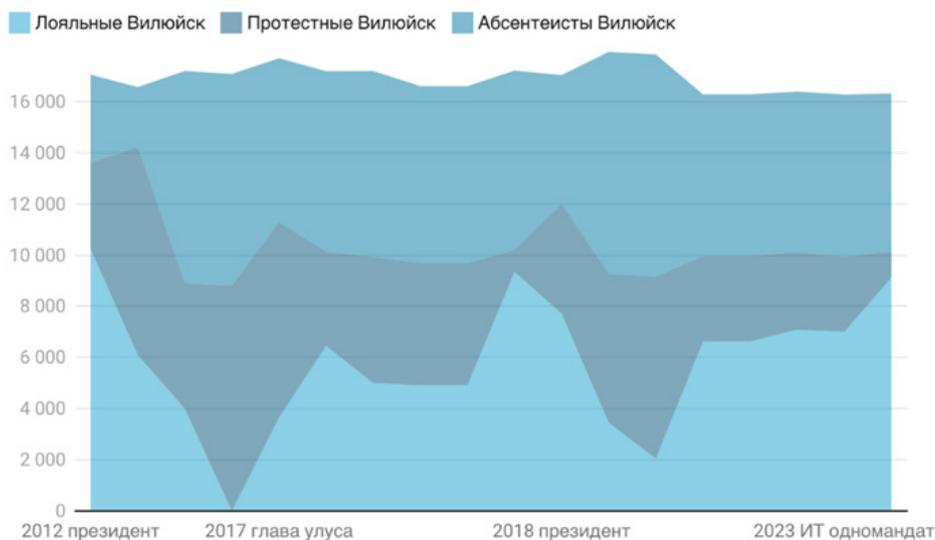


Рис. 2. Динамика электорального поведения в Вилюйском районе (улусе)

избирательной комиссии. Указанные данные соответствуют датам проведения очередных выборов.

Исходя из полученных данных о результатах голосования, автором предложено разделить поведение избирателей на несколько групп (кластеров), а именно: на «лояльных» (проголосовавших за партию власти), «протестных» (проголосовавших за оппозицию), «абсентеистов» (не явившихся на голосование или испортивших бюллетени).

Количество абсентеистов $Q_{\text{Абс}}$ вычислялось по формуле:

$$Q_{\text{Абс}} = Q_{\text{общ}} - Q_{\text{лоял}} - Q_{\text{прот}} + Q_{\text{исп}}$$

где $Q_{\text{общ}}$ – общее число избирателей; $Q_{\text{лоял}}$ – число лояльных избирателей; $Q_{\text{прот}}$ – число протестных избирателей; $Q_{\text{исп}}$ – число избирателей, испортивших бюллетени.

Для удобства интерпретации полученных данных применены графические методы представления результатов выборов как на общегосударственном уровне, так и на уровне региона (рис. 1, 2). Полученные результаты демонстрируют динамику электорального поведения в городе Якутске и муниципальном районе (улусе).

Анализ электоральной статистики выявил следующие закономерности.

1. Население, проживающее в сельской местности, демонстрирует более высокий уровень политической активности, что выражается

в более низком абсентеизме (меньшем числе людей, уклоняющихся от участия в выборах).

2. Наблюдался резкий рост протестных настроений в 2021 г. на выборах в Государственную думу (ГД) (+171 % по сравнению с 2016 г.), что связано с непопулярной в России пенсионной реформой.

3. Отмечено максимальное число лояльных избирателей при минимальном протестном электорате на выборах президента России в 2018 г., что говорит о консолидации общества в условиях неблагоприятной геополитической ситуации.

Проведенный кластерный анализ не обнаружил статистически значимых линейных зависимостей между исследуемыми социально-экономическими показателями и результатами голосования. Однако это не исключает наличия более сложных, нелинейных взаимосвязей или влияния неучтенных в модели факторов.

Вместе с тем из графиков видно, что политические предпочтения с течением времени меняются незначительно, за исключением случаев принятия непопулярных решений, таких как проведение пенсионной реформы в 2018 г.

Заключение

В ходе настоящего исследования рассмотрены возможности применения современных методов кластерного анализа данных к проблеме электорального поведения избирателей.

Проанализированы реальные результаты голосования в Республике Саха (Якутия). Эмпирические данные показывают, что группы с традиционно низкой явкой могут демонстрировать повышенную восприимчивость к политической мобилизации при определенных условиях и отсутствии политических предпочтений: наблюдается рост лояльности в условиях неблагоприятной геополитической ситуации, что говорит

о консолидации общества. То есть абсентеизм не только отражает существующие диспропорции политического участия, но и представляет собой динамический ресурс, способный существенно влиять на исход выборов при грамотном использовании инструментов политического маркетинга и адресной мобилизации. По мнению автора, целесообразно продолжить исследования в данном направлении.

Список литературы

1. Ахременко, А.С. Гнев, идентичность или вера в успех? Динамика мотивации и участия в белорусских протестах 2020 года / А.С. Ахременко, А.П. Петров // Полис. Политические исследования. – 2023. – № 2.
2. Кочедыков, И.Е. Об опыте применения больших данных в политической науке / И.Е. Кочедыков // Полит. наука. – 2023. – № 4.
3. Bond, R. Quantifying Social Media's Political Space: Estimating Ideology from Publicly Revealed Preferences on Facebook / R. Bond, S. Messing // American Political Science Review. – 2015. – № 109(1).

References

1. Akhremenko, A.S. Gnev, identichnost' ili vera v uspekh? Dinamika motivatsii i uchastiya v belorusskikh protestakh 2020 goda / A.S. Akhremenko, A.P. Petrov // Polis. Politicheskiye issledovaniya. – 2023. – № 2.
2. Kochedykov, I.Ye. Ob opyte primeneniya bol'shikh dannykh v politicheskoy nauke / I.Ye. Kochedykov // Polit. nauka. – 2023. – № 4.

© И.В. Николаева, 2025

УДК 332.122.64

*А.О. ШЕВЕРДАК, Е.В. ФИЛЮШИНА**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск*

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Ключевые слова: Красноярский край; промышленность; региональное развитие; социально-экономические эффекты; цифровая трансформация; цифровизация промышленности; цифровые технологии.

Аннотация. В статье рассматриваются процессы цифровой трансформации промышленности в региональном аспекте на примере Красноярского края. Проанализированы основные направления внедрения цифровых технологий в промышленный сектор, включая промышленный интернет вещей, анализ больших данных, автоматизацию и интеллектуальные системы управления производством. Особое внимание уделяется региональным особенностям цифровой трансформации, связанным со структурой промышленности, уровнем инфраструктурного развития и кадровым потенциалом. Выявлены ключевые социально-экономические эффекты цифровой трансформации промышленности Красноярского края, выражающиеся в росте производительности труда, повышении устойчивости предприятий и формировании условий для инновационного развития региона.

В современных условиях цифровые технологии становятся одним из определяющих факторов роста конкурентоспособности региональных экономик. Их внедрение в промышленный сектор позволяет оптимизировать производственные и управленческие процессы, сократить затраты, повысить эффективность использования ресурсов и обеспечить долгосрочную устойчивость развития. Для Красноярского края, отличающегося высокой концентрацией предприятий металлургической, машиностро-

тельной и энергетической отраслей, цифровая трансформация выступает важнейшим инструментом модернизации промышленного комплекса и усиления инновационного потенциала территории.

Целью настоящей статьи являются исследование специфики цифровой трансформации промышленности Красноярского края и анализ социально-экономических результатов внедрения цифровых решений. Для достижения поставленной цели рассматриваются концептуальные основы цифровизации промышленности, региональные особенности развития промышленных предприятий, основные эффекты цифровой трансформации, а также существующие проблемы и ограничения.

Теоретические основы цифровой трансформации промышленности

Цифровая трансформация промышленности представляет собой системное обновление производственных и управленческих процессов на основе использования современных цифровых технологий. К ключевым инструментам цифровизации относятся промышленный интернет вещей, технологии обработки больших данных, системы искусственного интеллекта, робототехника и автоматизированные системы управления.

В отличие от традиционной автоматизации, цифровая трансформация ориентирована на интеграцию данных, технологий и управленческих решений в единую информационную среду. Это позволяет предприятиям переходить к предиктивным моделям управления, снижать производственные риски и повышать прозрачность бизнес-процессов. Существенное значение имеет региональный фактор, вклю-

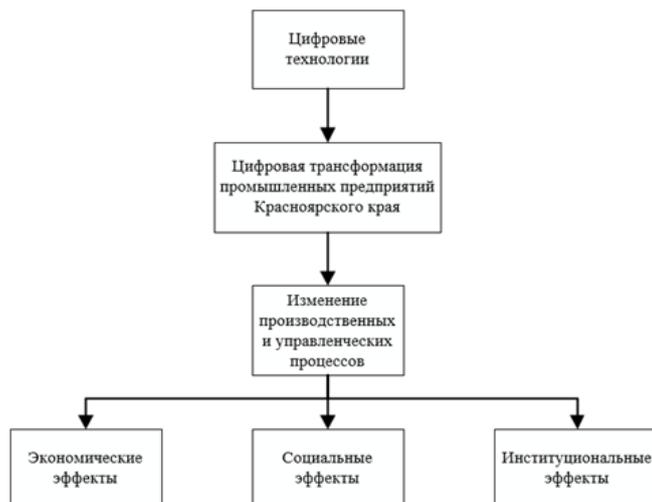


Рис. 1. Проблемы и ограничения цифровой трансформации

чающий отраслевую структуру промышленности, уровень развития инфраструктуры и наличие квалифицированных кадров, что напрямую влияет на темпы и результативность цифровизации.

Региональные особенности цифровой трансформации промышленности Красноярского края

Промышленный комплекс Красноярского края характеризуется значительной долей крупных предприятий, функционирующих в металлургии, энергетике, машиностроении и оборонно-промышленном комплексе. В данных условиях цифровые технологии преимущественно направлены на повышение надежности технологических процессов, оптимизацию производственных цепочек и управление сложными техническими системами.

На предприятиях региона внедряются автоматизированные системы управления, осуществляются сбор и анализ производственных данных в режиме реального времени, применяются интеллектуальные решения для прогнозирования технического состояния оборудования и оптимизации логистических процессов. Важную роль в формировании научно-образовательной базы цифровой трансформации играет Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, обеспечивающий подготовку кадров, проведение научных исследований и участие в прикладных проектах совместно с промышленными

организациями.

Цифровая трансформация промышленности Красноярского края носит комплексный характер, затрагивая как технологические, так и управленческие аспекты деятельности предприятий, и формирует предпосылки для устойчивого социально-экономического развития региона.

Социально-экономические эффекты цифровой трансформации промышленности Красноярского края

Внедрение цифровых технологий в промышленный сектор Красноярского края оказывает многоаспектное влияние на развитие региона.

Экономические эффекты проявляются в росте производительности труда за счет автоматизации операций, снижении издержек вследствие оптимизации производственных процессов и более рационального использования ресурсов на основе интеллектуальных систем планирования.

Социальные эффекты связаны с повышением уровня квалификации работников, развитием цифровых компетенций персонала, а также улучшением условий труда. Применение цифровых решений способствует повышению безопасности производственных процессов, снижению физической нагрузки и уменьшению доли монотонного труда.

Институциональные эффекты выражаются в расширении взаимодействия между промышленными

ленными предприятиями, образовательными и научными организациями, а также органами государственной власти. Это способствует формированию цифровых экосистем, развитию практико-ориентированных образовательных программ и созданию благоприятной среды для внедрения инноваций.

Взаимосвязь цифровых технологий и социально-экономических эффектов цифровизации промышленности Красноярского края представлена на рис. 1.

Несмотря на положительные результаты, цифровизация промышленности Красноярского края сталкивается с рядом ограничений. К числу основных проблем относятся дефицит специалистов в области цифровых технологий и анализа данных, неоднородный уровень цифровой зрелости предприятий, а также высокая капиталоемкость проектов по внедрению современных информационных систем. Дополнительные сложности создают организационные и управленческие барьеры, включая сопротивление изменениям и недостаточную готовность управленческого персонала к цифровой трансформации.

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева вносит значительный вклад в преодоление указанных ограничений посредством подготовки квалифицированных кадров, проведения научных исследований и сопровождения процессов внедрения цифровых технологий на предприятиях региона.

Перспективы и роль университета

Дальнейшее развитие цифровой трансформации промышленности Красноярского края связано с расширением применения интеллектуальных систем управления, развитием промышленного интернета вещей и интеграцией разрозненных данных для реализации предиктивных моделей управления. Университет обеспечивает подготовку высококвалифицированных специалистов, научно-методическую поддержку предприятий и участие во внедрении инновационных проектов в промышленный сектор региона.

Системное взаимодействие науки, бизнеса и органов власти создает условия для ускорения цифровизации промышленности и формирования устойчивой инновационной экосистемы.

В заключение следует отметить, что цифровая трансформация промышленности Красноярского края оказывает комплексное воздействие на экономическое развитие, социальную сферу и институциональную среду региона. Использование цифровых технологий способствует повышению эффективности производства, развитию человеческого капитала и укреплению инновационного потенциала. Существенная роль в данном процессе принадлежит Сибирскому государственному университету науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, обеспечивающему кадровую и научную основу устойчивого развития промышленного комплекса региона.

Список литературы

1. Барабанов, А.В. Цифровая трансформация промышленности: теория и практика / А.В. Барабанов. – М. : Наука, 2020. – 256 с.
2. Гаврилов, В.И. Индустрия 4.0: цифровизация производственных процессов / В.И. Гаврилов, С.П. Иванов. – СПб : Питер, 2019. – 312 с.
3. Зайцев, А.А. Промышленный интернет вещей: возможности и ограничения / А.А. Зайцев // Промышленная экономика. – 2021. – № 4. – С. 45–53.
4. Сидоров, И.Н. Инновации в промышленности Красноярского края / И.Н. Сидоров // Региональная экономика. – 2022. – Т. 18. – № 2. – С. 112–121.
5. Федеральная служба государственной статистики. Отраслевые показатели промышленности РФ / Росстат. – М. : Росстат, 2022. – 145 с.

References

1. Barabanov, A.V. Tsifrovaya transformatsiya promyshlennosti: teoriya i praktika / A.V. Barabanov. – M. : Nauka, 2020. – 256 s.
2. Gavrilov, V.I. Industriya 4.0: tsifrovizatsiya proizvodstvennykh protsessov / V.I. Gavrilov, S.P. Ivanov. – SPb : Piter, 2019. – 312 s.

3. Zaytsev, A.A. Promyshlennyy internet veshchey: vozmozhnosti i ogranicheniya / A.A. Zaytsev // Promyshlennaya ekonomika. – 2021. – № 4. – S. 45–53.
 4. Sidorov, I.N. Innovatsii v promyshlennosti Krasnoyarskogo kraya / I.N. Sidorov // Regional'naya ekonomika. – 2022. – T. 18. – № 2. – S. 112–121.
 5. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Otrasleyvyye pokazateli promyshlennosti RF / Rosstat. – M. : Rosstat, 2022. – 145 s.
-

© А.О. Шевердак, Е.В. Филюшина, 2025

УДК 330.43

С.Е. ЭСАЛЬНЕК, А.Э. ЗАЕНЧКОВСКИЙ, М.И. ДЛИ, Т.В. КАКТУНОВА

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Смоленск

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ: ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОГО ОТКЛИКА

Ключевые слова: временные лаги; высокотехнологичные и наукоемкие отрасли; инновационная активность; инновационные процессы; корреляционный анализ; отраслевой профиль; пространственно-временной анализ; технологическое развитие регионов.

Аннотация. Целью исследования является анализ влияния ключевых факторов, определяющих динамику развития инновационных процессов в регионах РФ, на основе выявления силы, направленности и временной структуры их воздействия на технологическое развитие экономики. Особое внимание уделено оценке характера инновационного отклика и роли отраслевого профиля региона как модератора взаимосвязи между инновационной инфраструктурой и результатами научно-технологической деятельности. Результаты: выявлены различия в скорости проявления инновационных эффектов по регионам РФ, подтверждающие лаговую природу технологического развития. Наибольший оперативный отклик демонстрирует инновационная активность организаций, тогда как влияние инновационной продукции и затрат на технологические инновации характеризуется значительной инерционностью. Для Смоленской области установлена смешанная модель инновационного отклика (с преобладанием лагов -1 и -2), отражающая сочетание старопромышленной структуры с ограниченной масштабностью высокотехнологичного сектора.

Развитие высокотехнологичных отраслей и инновационной активности является обязательным условием достижения технологического суверенитета РФ [1–3]. Высокотехнологичные отрасли формируют ядро современной произ-

водственно-хозяйственной системы, обеспечивая создание инновационных товаров, работ, услуг, а также повышение ее конкурентоспособности в стратегической перспективе [4; 5]. Их значение неоднократно подчеркивается в исследованиях на мировом уровне и в разрезе отечественной практики [6; 7]. Мониторинг состояния высокотехнологичных отраслей используется для оценки эффективности государственной научно-технологической политики, выявления территориальных диспропорций и определения направлений поддержки [8]. Однако инновационные процессы обладают отложенной динамикой: эффект от внедрения технологий проявляется не сразу, а спустя определенное время [9]. В этих условиях анализ временных лагов воздействия инноваций на структуру валового регионального продукта (ВРП) позволяет выявить типы региональных траекторий, оценить восприимчивость к инновациям и определить факторы, влияющие на скорость технологических изменений. Для Смоленской области, находящейся в процессе технологической трансформации, понимание данных временных эффектов проявления влияния инноваций является критически важным инструментом промышленной политики.

В связи с этим была выдвинута гипотеза, что отраслевой профиль региона модераторно влияет на связь между инфраструктурой и инновационной активностью: чем более диверсифицирована экономика и выше доля обрабатывающих производств, тем сильнее проявляется влияние изменений в области инновационной инфраструктуры на экономические результаты. В рамках исследования был проведен корреляционный анализ влияния отдельных показателей инновационной деятельности на вклад высокотехнологичных и наукоемких отраслей в

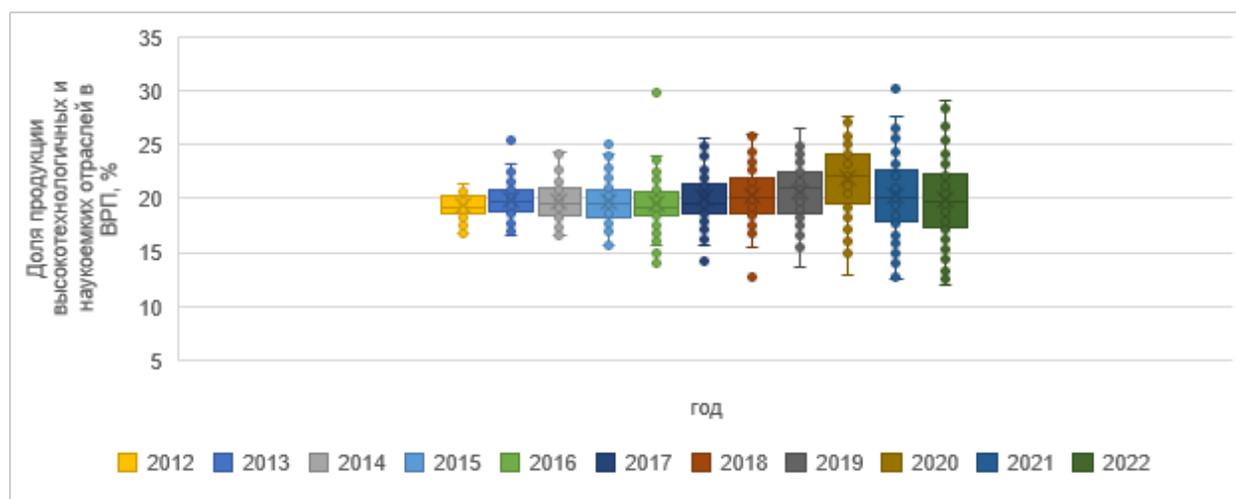


Рис. 1. Значения удельного вклада высокотехнологичных и наукоемких производств в ВРП по всем регионам РФ, 2012–2022 гг. Составлено авторами по данным [10]

Таблица 1. Наиболее характерные регионы в распределении влияния вклада инновационной продукции в ВРП на его структуру по данным [11–13]

Временной лаг	0	–1	–2	–3
Доля субъектов РФ в группе	13,92 %	32,91 %	20,25 %	24,05 %
Число субъектов РФ в группе	11	26	16	19
Наименования наиболее характерных регионов в группе	Тверская область; г. Москва; г. Санкт-Петербург	Ивановская область; Смоленская область; Ленинградская область; Волгоградская область	Белгородская область; Брянская область; Калужская область; Краснодарский край	Ярославская область; Архангельская область

ВРП. Среди факторных переменных были использованы: уровень инновационной активности; удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме; удельный вес затрат организаций на технологические инновации в общем объеме [10]. На рис. 1 представлена динамика изменения удельного вклада высокотехнологичных и наукоемких производств в ВРП в разрезе всех субъектов РФ.

В 2012 г. разброс значений показателя по регионам РФ был относительно небольшим: от 16,7 % до 21,3 %. К 2022 г. он стал значительно шире – от 12 % до 29 %, что демонстрирует рост межрегиональной дифференциации и различий в технологической насыщенности экономики территорий. Значительное увеличение

верхней границы разброса говорит о появлении группы регионов, активно модернизирующих промышленность и наращивающих выпуск наукоемкой продукции. Усиление дифференциации после 2017 г., возможно, связано в том числе с разной восприимчивостью региональных экономик к технологическим изменениям. Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВВП РФ, Центрального федерального округа (ЦФО) и ВРП Смоленской области в рассматриваемом периоде изменялась относительно плавно [10]. В 2022 г. показатель по РФ составил около 20,74 %, по ЦФО – 23,24 %, по Смоленской области – 22,19 %. С учетом того, что институциональная среда формирует отложенные инновационные эффекты, анализ был

Таблица 2. Наиболее характерные регионы в распределении влияния инновационной активности организаций на удельный вес высокотехнологичных и наукоемких производств по данным [11–13]

Временной лаг	0	–1	–2	–3
Доля субъектов РФ в группе	24,05 %	44,3 %	13,92 %	10,13 %
Число субъектов РФ в группе	19	35	11	8
Наименования наиболее характерных регионов в группе	Калужская область; Тверская область; г. Санкт-Петербург	Ивановская область; Костромская область; Смоленская область	г. Москва; Вологодская область; Новгородская область	Краснодарский край; Красноярский край; Республика Саха (Якутия)

дополнен регрессионными моделями со смещением (лагами 1–3 года). Достаточно широкий диапазон от 0,96 до –0,94 значений коэффициентов корреляции, полученных в ходе расчетов в рамках всех групп по потенциальному времени влияния, позволяет говорить об отсутствии прямой однозначной зависимости влияния выделяемых факторов на результат и о потенциальном наличии групп других детерминирующих особенностей. Вместе с тем достаточно ярко можно выделить группы преимущественно положительного характера влияния и достаточно высокие значения зависимостей для ряда субъектов в определенные временные интервалы между воздействием и результатом.

Вариативность влияния первого фактора на изменение вклада высокотехнологичных и наукоемких производств за рассматриваемые периоды по субъектам РФ была значительная. В то же время в рамках временных лагов закономерности достаточно яркие. Это позволяет говорить о подтверждении гипотезы о том, что инновационные товары, работы и услуги в среднесрочной перспективе используются для развития производств и изменений структуры производства. Как видно из табл. 1, наибольшая доля субъектов (32,91 %) относится к группе с лагом –1 года. Это указывает на наличие достаточной восприимчивости предприятий к технологическим изменениям, а также на относительно быстрый механизм преобразования инновационной активности в структурные сдвиги в производстве. Сравнимо высокая доля регионов (24,05 %) демонстрирует значимый эффект при лаге –3 года. Это подтверждает, что в части субъектов инновационные товары, рабо-

ты и услуги начинают воздействовать на структуру ВРП только в среднесрочной перспективе, когда технологические решения проходят полный цикл внедрения: от разработки и первичной апробации до масштабирования в производственных цепочках. В этих регионах эффект инноваций является более инерционным, что связано с высокой капиталоемкостью производства, низкой гибкостью предприятий и недостаточно развитой инновационной инфраструктурой. Регионов, в которых влияние проявляется без временного лага (0), существенно меньше (13,92 %). Это преимущественно промышленно развитые территории с уже сложившимися высокотехнологичными кластерами и более коротким периодом адаптации новых технологий. Среди них присутствуют Москва, Санкт-Петербург, Нижегородская область – регионы с мощными научно-производственными центрами и высокой инновационной активностью.

Табл. 2 показывает, что влияние инновационной активности на удельный вес высокотехнологичных и наукоемких производств обладает ярко выраженной неоднородностью и асинхронностью во временной динамике, что подчеркивает сложность процессов адаптации инноваций в региональных производственных системах. Распределение субъектов РФ между четырьмя временными лагами (0, –1, –2, –3) показывает преобладание регионов с быстрым или умеренно-быстрым проявлением эффекта инновационной активности. Наибольшая доля субъектов – 44,3 % – относится к группе с лагом –1, что означает проявление эффекта инновационной активности уже в течение года после ее осуществления. Это наиболее типичная

Таблица 3. Наиболее характерные регионы в распределении влияния затрат на технологические инновации на удельный вес высокотехнологичных и наукоемких производств по данным [11–13]

Временной лаг	0	-1	-2	-3
Доля субъектов РФ в группе	29,11 %	34,18 %	13,92 %	22,78 %
Число субъектов РФ в группе	23	27	11	18
Наименования наиболее характерных регионов в группе	Калининградская область; Ленинградская область; Новгородская область; г. Санкт-Петербург	Владимирская область; Смоленская область; г. Москва; Псковская область	Архангельская область; Пензенская область	Карачаево-Черкесская Республика; Республика Хакасия; Республика Бурятия

модель для промышленно развитых территорий Центрального, Приволжского и Южного федеральных округов, в которых предприятия обладают достаточным уровнем технологической подготовленности, инфраструктурой и возможностями для быстрого внедрения инновационных решений.

По результатам анализа табл. 3 можно сделать вывод о том, что влияние затрат на технологические инновации на результирующий признак схожее. Распределение регионов по временному лагу показывает четыре устойчиво различающиеся группы моделей инновационного развития. Наибольшая доля субъектов – 34,18 % – относится к группе с лагом –1, что указывает на умеренно быстрый характер влияния затрат. В таких регионах инвестиции в новые технологии начинают давать структурный эффект уже через год после внедрения, что отражает наличие развитой производственной базы, достаточной технологической емкости и отлаженных механизмов трансфера технологий. Эти регионы – преимущественно промышленно развитые субъекты Приволжского, Центрального и Уральского федеральных округов. Сравнимо высока доля регионов, проявляющих влияние без временного лага (лаг 0) – 29,11 %. Это субъекты, в которых вложения в технологические инновации оказывают немедленный эффект на структуру экономики. К ним относятся города федерального значения, отдельные индустриальные области Центрального и Северо-Западного округов, а также территории, где инновации встроены в текущие технологические процессы. Наличие таких регионов подтверж-

дает, что в ряде субъектов инновационные механизмы работают в режиме «быстрой конверсии» инвестиций в технологический результат.

В этом контексте Смоленская область демонстрирует смешанную модель инновационного отклика. Согласно результатам таблиц регион не относится к группам с мгновенной реакцией (лаг 0). Вместе с тем Смоленская область также не относится к регионам с наиболее протяженными лагами (–3), характерными для сырьевых и низкотехнологичных территорий. В большинстве случаев Смоленская область попадает в промежуточные группы (лаг –1 и лаг –2). Такая траектория объясняется структурными особенностями экономики региона. Высокотехнологичный сектор Смоленской области представлен ограниченным числом предприятий в машиностроении, приборостроении и электронике, то есть уровень технологической емкости недостаточен для мгновенного накопления и реализации инновационного эффекта, но в то же время регион имеет определенный промышленный базис, позволяющий инновациям проявляться в среднесрочной перспективе. Высокая доля услуг и старопромышленная структура приводят к тому, что инновации требуют времени для адаптации. Учитывая транзитный потенциал области, близость крупных центров (Москва, Минск) и наличие сформированной промышленной базы, Смоленская область обладает возможностями для ускорения инновационного отклика, но требуемые структурные сдвиги могут проявляться только при условии комплексной политики модернизации и поддержки высокотехнологичного сектора. Ло-

кализация промышленных зон в муниципалитетах с наибольшим потенциалом роста позволит территориально концентрировать ресурсы, снижать трансакционные издержки и усиливать агломерационный эффект. В этой связи важным направлением становится поддержка существующих промышленных отраслей. Значимым элементом перехода к инновационной траектории развития являются расширение и укрепление инфраструктуры трансфера технологий.

Таким образом, проведенное исследование пространственно-временной динамики инновационных процессов в регионах РФ подтверждает, что влияние инновационной деятельности на развитие высокотехнологичных и наукоемких отраслей имеет выраженную лаговую природу. Ни один из анализируемых факторов не оказывает мгновенного и универсального воздействия на структуру ВРП: во всех случаях наблюдается отложенный инновационный эффект, который формируется в среднем в горизонте от 1 до 3 лет. Это подчеркивает сложность технологических изменений и необходимость их оценки в рамках многолетних циклов модернизации. Инновационная активность является наиболее быстро действующим фактором, обеспечивающим увеличение доли высокотехнологичных отраслей уже через год после возникновения инновационных импульсов. В то же время объем и затраты демонстрируют более инерционные модели развития: эффект их воздействия на технологическую структуру экономики в

большинстве регионов проявляется лишь через 2–3 года, что, возможно, связано с длительными циклами внедрения, масштабирования и технологической адаптации. Высокая вариативность лагов в распределении регионов по группам подтверждает наличие существенной межрегиональной дифференциации. Наиболее оперативно на инновации реагируют крупные индустриальные центры, а также регионы с развитой инновационной инфраструктурой. Напротив, субъекты с низкой технологической емкостью, высокой капиталоемкостью производства и слабой инновационной инфраструктурой демонстрируют длительные лаги, достигающие трех лет. В данной структуре Смоленская область занимает промежуточное положение, характерное для регионов с умеренным уровнем технологичности. Анализ показателей также позволяет сделать вывод о том, что отраслевая структура региона действительно выполняет модерную функцию, определяя глубину и скорость инновационного отклика. Регионы с развитой обрабатывающей промышленностью реагируют на улучшение инновационной инфраструктуры значительно быстрее, тогда как сырьевые и аграрно-сервисные субъекты демонстрируют более слабую и длительно формирующуюся реакцию. Это подтверждает выдвинутую гипотезу о необходимости учитывать отраслевые особенности и технологическую емкость регионов при формировании инновационной политики.

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

Список литературы

1. Кириллова, Е.А. Мониторинг и оценка динамики инновационной экосистемы как основа анализа ее развития с учетом требований экономической безопасности / Е.А. Кириллова, М.И. Дли // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 12(162). – С. 132.
2. О Стратегии научно-технологического развития РФ: Указ Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358>.
3. Показатели реализации стратегии научно-технологического развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://xn--mlagf.xn--plai/indicators-and-ratings/by-programm/ntr-indicators-2024>.
4. Веселовский, М.Я. Проблемы и потенциал развития промышленных предприятий наукоемких отраслей / М.Я. Веселовский, Е.М. Абрашкина // Модернизация. Инновации. Развитие. – 2016. – Т. 7. – № 2(26). – С. 152–159.
5. Кириллова, Е.А. Мониторинг и оценка динамики инновационной экосистемы как основа анализа ее развития с учетом требований экономической безопасности / Е.А. Кириллова, М.И. Дли // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 12(162). – С. 132–135.
6. Овчинникова, А.В. Структурно-технологические траектории экономического развития регионов РФ / А.В. Овчинникова, Е.А. Богачев // Вестник Южно-Уральского государственного уни-

верситета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2025. – Т. 19. – № 2. – С. 75–85.

7. Innovation and Knowledge-Intensive Service Activities // OECD [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2006/03/innovation-and-knowledge-intensive-service-activities_g1gh6a00/9789264022744-en.pdf.

8. Кириллова, Е.А. Прогнозирование инновационных потребностей промышленности региона в условиях импортозамещения / Е.А. Кириллова, М.И. Дли, С.А. Масютин, Д.А. Тюкаев // Modern Economy Success. – 2022. – № 5. – С. 6–14.

9. Кириллова, Е.А. Динамическая модель прогнозирования потребностей промышленного производства в аспекте его инновационного развития / Е.А. Кириллова, А.Э. Заенчковский, Д.А. Тюкаев, В.А. Епифанов // Финансовый бизнес. – 2022. – № 6(228). – С. 37–42.

10. Инновационный потенциал высокотехнологичных отраслей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/885863725.pdf>.

11. Наука, инновации и технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rosstat.gov.ru/statistics/science>.

12. Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом региональном продукте относительно уровня 2011 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fedstat.ru/indicator/55370>.

13. Валовый внутренний продукт и валовый региональный продукт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rosstat.gov.ru/statistic>.

References

1. Kirillova, Ye.A. Monitoring i otsenka dinamiki innovatsionnoy ekosistemy kak osnova analiza yeye razvitiya s uchetom trebovaniy ekonomicheskoy bezopasnosti / Ye.A. Kirillova, M.I. Dli // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 12(162). – S. 132.

2. O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya RF: Ukaz Prezidenta RF ot 28.02.2024 g. № 145 [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358>.

3. Pokazateli realizatsii strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya [Electronic resource]. – Access mode : <https://xn--mlagf.xn--plai/indicators-and-ratings/by-programm/ntr-indicators-2024>.

4. Veselovskiy, M.YA. Problemy i potentsial razvitiya promyshlennykh predpriyatiy naukoemkikh otrasley / M.YA. Veselovskiy, Ye.M. Abrashkina // Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitiye. – 2016. – Т. 7. – № 2(26). – S. 152–159.

5. Kirillova, Ye.A. Monitoring i otsenka dinamiki innovatsionnoy ekosistemy kak osnova analiza yeye razvitiya s uchetom trebovaniy ekonomicheskoy bezopasnosti / Ye.A. Kirillova, M.I. Dli // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 12(162). – S. 132–135.

6. Ovchinnikova, A.V. Strukturno-tekhnologicheskiye trayektorii ekonomicheskogo razvitiya regionov RF / A.V. Ovchinnikova, Ye.A. Bogachev // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i menedzhment. – 2025. – Т. 19. – № 2. – S. 75–85.

7. Innovation and Knowledge-Intensive Service Activities // OECD [Electronic resource]. – Access mode : https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2006/03/innovation-and-knowledge-intensive-service-activities_g1gh6a00/9789264022744-en.pdf.

8. Kirillova, Ye.A. Prognozirovaniye innovatsionnykh potrebnostey promyshlennosti regiona v usloviyakh importozameshcheniya / Ye.A. Kirillova, M.I. Dli, S.A. Masyutin, D.A. Tyukayev // Modern Economy Success. – 2022. – № 5. – S. 6–14.

9. Kirillova, Ye.A. Dinamicheskaya model' prognozirovaniya potrebnostey promyshlennogo proizvodstva v aspekte yego innovatsionnogo razvitiya / Ye.A. Kirillova, A.E. Zayenchkovskiy, D.A. Tyukayev, V.A. Yepifanov // Finansovyy biznes. – 2022. – № 6(228). – S. 37–42.

10. Innovatsionnyy potentsial vysokotekhnologichnykh otrasley [Electronic resource]. – Access mode : <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/885863725.pdf>.

11. Nauka, innovatsii i tekhnologii [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.rosstat.gov.ru/statistics/science>.

12. Dolya produktsii vysokotekhnologichnykh i naukoemkikh otrasley v valovom regional'nom produkte otnositel'no urovnya 2011 goda [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.fedstat.ru/>

indicator/55370.

13. Valovyy vnutrenniy produkt i valovyy regional'nyy produkt [Electronic resource]. – Access mode : <https://rosstat.gov.ru/statistic>.

© С.Е. Эсальнек, А.Э. Заенчковский, М.И. Дли, Т.В. Кактунова, 2025

Abstracts and Keywords

K.R. Aminova, O.G. Gubaeva

Modeling the Process of Automated Voltage Regulation in Electrical Networks

Keywords: load control (RPN); automated transformer voltage regulator (ARNT); transient process; power quality; dispatching; automated voltage control; voltage drop; oscilloscope; automated process control system; digital substation.

Abstract. With increasing demands on power quality and the digitalization of power systems, accounting for short-term disturbances arising during local control operations, particularly during on-load tap-changer (OLTC) switching, is becoming increasingly important. This study aims to determine the impact of a transformer's automatic voltage regulator (AVTR) on power characteristics. The objective of this study was to develop recommendations for the use of the AVTR. The research methods employed included modeling the dynamic processes occurring during on-load tap-changer (OLTC) switching using a TMN-6300/35 transformer (a three-phase oil-immersed power transformer) and analyzing the resulting oscillograms against standard power quality indicators (GOST 32144-2013). As a result of the study, algorithmic measures were proposed to minimize the negative impact in the context of integrating the OLTC into automated voltage control systems (AVCS – automated process control system), including as part of automated workstations of the control center (AWC DC) and automatic voltage control systems.

S.N. Bashkirova, S.K. Zupalov, A.R. Aliumarov, Sh.B. Abdullaev, B.G. Sultanov

Digital Segmentation Model of Dental Injuries Using Artificial Intelligence

Keywords: digital dentistry; artificial intelligence; digital model; neural networks; machine learning.

Abstract. The purpose of this study was to develop algorithms for the in-depth diagnosis of traumatic dental injuries based on the tools offered by YOLO, from the perspective of automatic segmentation of soft and hard tissue injuries on panoramic radiographs of patients. The results of the study, based on the analysis of statistical data obtained during X-ray observations of children aged 6–13 years who were hospitalized as emergency patients in the period from 2024 to 2025 in the number of 345 people, led to the conclusion that the use of artificial intelligence in dentistry is becoming a reality, which greatly facilitates the work of dentists with daily with huge amounts of high-quality and unified data, it helps to interpret clinical symptoms, perform cephalometric analysis or recognize lesions based on voxel differences to make a specific diagnosis.

D.A. Bogdanov, A.N. Gavrilin

Analysis of Existing Methods for Vibration Diagnostics of Rolling Bearings

Keywords: vibration diagnostics; rolling bearings; non-destructive testing; wavelet transform; acoustic emission; neural networks; machine learning.

Abstract. The aim of the study is a systematic analysis of vibration-based diagnostic methods for rolling bearings to assess their effectiveness. The objectives are to classify the methods, evaluate their accuracy, complexity, and applicability, and identify development trends. The hypothesis states that the selection and combination of methods are determined by operating conditions. The methods used include a review and comparative analysis of scientific literature. The results show that traditional methods provide up to 100 % accuracy in laboratory settings, time-frequency methods up to 99.73 %, intelligent

methods up to 99.47 %, while hybrid methods incorporating acoustic emission detect defects 4–50 % earlier. Future prospects involve the integration of AI and IoT.

S.A. Voronin

OSINT Methodology for Automated Counterparties Verification Using Artificial Intelligence (Due Diligence)

Keywords: OSINT; due diligence; artificial intelligence; economic security; NLP; Graph Neural Networks; counterparty verification; RuBERT; 152-FZ; beneficial owner; compliance.

Abstract. The purpose of the study is to develop a methodology for automated verification of counterparties based on OSINT and AI. The research tasks included analysis of the legal framework of the Russian Federation, creation of an NLP pipeline for text processing, application of GNN for communication analysis, assessment of economic efficiency. The hypothesis suggests that hybrid AI systems can significantly reduce operational costs and identify hidden risks. Methods included NLP (RuBERT, DeepPavlov) for extracting entities and relationships, graph neural networks for affiliation modeling, machine learning for scoring. As a result of the study, the hypothesis had been confirmed – the proposed methodology provides cost reduction by 80–90 % and identification of risks that are inaccessible during manual analysis.

I.V. Zaitseva, V.V. Bondar, M.G. Kaznacheeva

Mathematical Modeling of the Labor Supply Plan

Keywords: mathematical modeling; labor resources; game theory; strategies.

Abstract. The paper considers a mathematical model of a labor supply plan, which is a game-theoretic model of an antagonistic conflict. The goal of the paper is to develop a mathematical model of an optimal labor supply plan. The objectives of the paper are to determine the type of resources that need to be supplied, given that labor productivity depends primarily on technological progress, and that the supply plan should maximize the revenue generated by the resources; to represent the conflict described as a matrix game; and to find an optimal supply plan. The paper provides an example of implementing the solution of the constructed game using a physical mixture of strategies.

T.G. Oreshchenko, S.I. Kulagina

Preparing Raspberry PI 5 and Radxa ZERO Single-Board Computers for YOLO Neural Network Model Deployment

Keywords: SBCs; neural network models; integration; interface.

Abstract. This paper provides a comprehensive analysis of two leading Single Board Computer (SBC) systems – the Raspberry Pi 5 and Radxa ZERO. It examines architectural and technical prerequisites and limitations, criteria for selecting software platforms for ML/CV tasks, and a practical algorithm for preparing SBCs for effective YOLO deployment. Particular attention is paid to peripheral integration, optimization of neural network models for hardware accelerators, and ensuring operational stability in industrial and research scenarios. The aim of the study was to develop and describe algorithms for deploying a YOLO neural network model based on SBCs.

S.V. Palmov, V.A. Yakovlev

Time-Series Forecasting and Reconstruction of Activity Data Using the SARIMAX Model

Keywords: time series; forecasting; SARIMAX; Kalman filter; data reconstruction; seasonality;

Telegram; Python.

Abstract. This study tested the hypothesis that the SARIMAX can be effectively employed for time-series forecasting and the reconstruction of missing observations while preserving seasonal structure. A dataset of Telegram-channel activity was collected and preprocessed; short gaps were smoothed and imputed using a Kalman filter. Extended missing intervals were reconstructed and forecasts produced by fitting a SARIMAX model that incorporated the detected seasonal component. The methodology combined statistical analysis, time-series decomposition, parameter optimization and forecast evaluation using the MAPE. The approach yielded a MAPE of 4.72 %, which supports the effectiveness of the proposed procedure and confirms the hypothesis on the applicability of SARIMAX to noisy time series with missing data.

M.R. Prokudin, A.D. Chernov, D.A. Skvortsova

Stability Analysis of Hierarchical Systems Based on the Peter Principle and the Survival of the Weakest Paradox

Keywords: a three-person duel; survival of the weakest; Peter's principle.

Abstract. This study aims to test the hypothesis of an analogy between the Peter Principle and a three-person duel, as well as the use of a three-person duel simulation modeling to study the Peter Principle and the stability of hierarchical systems. The research objectives included developing a simulation model in Python, conducting statistical experiments, and processing empirical data. The primary research method was agent-based simulation modeling. The study resulted in determining the boundary values for the conditions of the "survival of the weakest" paradox and led to the conclusion about the necessity of regular personnel rotation.

E.G. Ryzhikova

Complex Design Problem-Oriented Programs for Expert Evaluation

Keywords: a set of problem-oriented programs; mathematical methods; expert assessments; multilevel assessment scales.

Abstract. The purpose of the article is to demonstrate the intermediate results of designing a set of problem-oriented programs (KPOP) to find optimal solutions based on the use of multi-level scales of expert assessments. The tasks are set: to study the distinctive features and peculiarities of writing KPOP, to design its main modules, to define processes, roles and functions. The hypothesis is that the development and implementation of KPOP will increase the reliability and quality of expert assessments, reduce survey time, and allow for more informed decisions based on operational analytics. The methods of analysis, ranking, expert assessments, comparison, and scaling are used. As a result, algorithms, software modules, processes, roles, and functions of the software package for expert evaluation on multilevel scales are determined.

A.S. Terentiev, E.E. Drokin, T.G. Oreshchenko

Development of a Mathematical Model of a System for Collecting Low-Frequency Noisy Signal

Keywords: electroencephalogram (EEG); instrument amplifier; neural interface; interference suppression; amplitude-frequency response; bandpass filter; bioelectric signals; spectral analysis.

Abstract. The purpose of this work is to develop an amplifier for recording low-frequency noisy signals. The research objectives included designing an amplifier circuit based on an AD627 microcircuit with filtering circuits, analyzing the amplitude-frequency characteristics using the MicroCap12 circuit simulation package, determining the bandwidth and gain, and evaluating the effectiveness of suppressing electromagnetic and physiological interference. The results obtained confirm the feasibility of creating

a compact and relatively inexpensive system for recording low-frequency noisy signals using readily available components.

N.A. Chursin, D.Yu. Ilin

Analysis of Approaches to Managing Computing Resources in a Kubernetes Cluster under Changing Workloads

Keywords: Kubernetes; autoscaling; resource management; cluster; workload; forecasting.

Abstract. The article is devoted to the issues of managing computing resources in a Kubernetes cluster under dynamically changing workloads. The aim of the study is to analyze current approaches to resource allocation and identify directions for improving the efficiency of automatic scaling. The mechanisms of the Horizontal and Vertical Pod Autoscalers, workload forecasting models, and adaptive scheduling practices are examined. Recommendations are formulated for improving the efficiency of CPU and memory utilization, reducing performance drops during peak loads, and increasing service resilience. The results obtained can be applied in the design of high-load systems where a balance between performance, resource efficiency, and service stability is required.

E.I. Ignatova, I.S. Frolov, F.V. Svoykin

Building of a Six-Square Truncated Pyramid in Kompas-3D V23

Keywords: ESKD; GOST; teaching methodology; engineering graphics; descriptive geometry; KOMPAS-3D; truncated pyramid; orthogonal projections; surface net.

Abstract. The purpose of this article is to construct a hexagonal truncated pyramid in KOMPAS-3D V23 and develop spatial thinking in engineering students. The study focuses on the step-by-step construction of a hexagonal truncated pyramid in KOMPAS-3D V23, systematically developing key competencies in students. These include mastery of complex graphic operations and the ability to create axonometric projections and flat patterns. Integrated work in KOMPAS-3D not only facilitates mastery of the system's functionality but also fosters a deep understanding of the principles of projection relationships and metric relationships between drawing elements.

This article presents a detailed methodology for constructing a hexagonal truncated pyramid using the KOMPAS-3D V23 computer-aided design system. This methodology is designed for students majoring in engineering and aims to develop practical CAD skills, deepen their knowledge of descriptive geometry, and develop spatial thinking within the context of an engineering graphics course.

In conclusion, a developed guide that serves as an effective teaching and methodological resource is presented. It is intended for students majoring in engineering and is designed to facilitate their mastery of complex drawing techniques in modern computer-aided design systems.

I.A. Pogrebnaya, S.V. Mikhailova

Comparative Analysis of Corrosion Control and Protection Methods for Industrial Oil and Gas Pipelines

Keywords: anti-corrosion protection; pipelines; oil fields; Western Siberia; epoxy coating; modified steel; fiberglass pipes; corrosion inhibitors; accident rate.

Abstract. The article presents an analysis of the operating experience and the effectiveness of various anti-corrosion protection measures for pipelines in Western Siberian oil fields. The relevance of this study is determined by the high proportion of corrosion damage, which accounts for up to 70 % of all accidents on oilfield pipelines in the region. The objective of the study is to comparatively evaluate methods for improving the reliability of pipeline systems: steel pipes with an internal epoxy coating, pipes made of modified and alloy steels, fiberglass pipes, and the use of corrosion inhibitors. The research methods include a retrospective analysis of accident statistics, monitoring the condition

of field pipelines, and a comparison of the characteristics of various design solutions. The results show that pipes with an internal epoxy coating and pipes made of modified steels provide the greatest efficiency in reducing the accident rate to 0.005–0.01 failures/km year. Fiberglass pipes have shown limited applicability due to hidden defects. A conclusion is drawn regarding the need for an integrated approach combining pipeline modernization with an increase in the share of corrosion-resistant materials to achieve reliable and safe operation.

N.O. Tapekha, A.S. Chursin, O.A. Shmakov

Kinetostatic Analysis of a Mobile Robot Overcoming a Vertical Obstacle with Consideration of Differential Traction Distribution

Keywords: mobile robotics; vertical obstacle; traction distribution; kinetostatic analysis; adhesion coefficient; adaptive control; mobility.

Abstract. The aim of this study is to develop a mathematical model and perform a kinetostatic analysis of the influence of differential traction force distribution between the axles on the possibility of quasi-statically overcoming a vertical obstacle by a two-axle mobile robot. The main hypothesis of the work is that an uneven traction distribution can increase the likelihood and efficiency of a vertical climb, especially on heterogeneous surfaces. To test this hypothesis, the following tasks were solved: creation of a generalized mathematical model considering different friction coefficients of the horizontal and vertical surfaces, derivation of analytical dependencies for force factors, parametric modeling of four scenarios of interaction with surfaces while varying the traction distribution coefficient from 0.5 to 2.0, as well as determination of qualitative and quantitative criteria for the feasibility of the climb. The methods of theoretical mechanics and kinetostatics were used, including the formulation of equilibrium equations and numerical modeling. As a result, optimal traction distribution ranges were established: 1.3–1.6 for soil and 0.8–1.2 for concrete. It is shown that adaptive shifting of traction to the rear axle increases the adhesion margin by 30–60 % under challenging conditions, contributing to energy-efficient obstacle overcoming. The practical significance of the work lies in creating a theoretical foundation and methodology for synthesizing adaptive traction control systems for high-mobility mobile robots intended for use in rescue, inspection, and special-purpose vehicles.

A.M. Kudriavtseva

Improving the Quality of Enhanced Heat Flux First Wall Panels of the ITER Manufacturing and Assembly Technologies Based on Computer Modeling

Keywords: ITER; first wall panels; laser welding; thermal stabilization; brazing; finite element method.

Abstract. Through the development of the manufacturing and assembly technologies of enhanced heat flux first wall panels of the ITER tokamak mock-ups with defects were identified, which is unacceptable. The purpose of this article is to study the reasons of technological defects in manufacturing and assembly technologies of ITER first wall panels and technologies improvement based on computer modeling. The main evaluation parameters for the quality and technological efficiency manufacturing and assembly of first wall panels are strength, integrity and tightness of construction elements. The methodology of evaluation based on normal stresses in defect zones is purposed. Developed calculation models and evaluation methodology allowed to increase productivity and quality of ITER first wall panels manufacturing and assembly technology by reducing of mock-up tests.

Patent and Licensing Strategy in an Innovative Startup

Keywords: patent strategy; consistent process; innovative startup; analytical tools; distinctive features.

Abstract. The aim of the study is to justify the use of S. Voronin's analytical tools for developing a patent strategy in innovative startups. The objectives include analyzing methods for drafting applications and integrating AI and neural networks into technical systems. The hypothesis is that the use of these tools increases the effectiveness of patent protection. The methods comprise comparative analysis, the study of algorithms, and case studies. The results confirm the practical value of the methodology for forming integrative solutions and reducing risks, which is illustrated by the example of selective etching technology.

A.V. Istomin, A.V. Gorelik, S.O. Sinelnikov, E.V. Kuzmina

Software Implementation of the Algorithm for Finding the Optimal Resource Allocation Strategy Based on a Set of Mathematical Methods

Keywords: optimal strategy; Java; JavaFX; Screen Builder; game theory.

Abstract. Today, there is a task of synthesizing a number of mathematical methods that make it possible to allocate financial resources to a part of activities to achieve one of the goals: either allocate resources so that after a certain time the amount of income is maximized, or after a certain time the amount of negative impact (risks) tends to be minimized. The aim of the research is to develop a software product in the Java programming language for searching and visualizing the optimal strategy for allocating financial resources in conditions of uncertainty based on game theory methods.

Research objectives.

1. Synthesis of a set of mathematical methods of game theory for solving the problem of optimizing the allocation of resources with various target functions: maximizing income or minimizing risks.
2. Software implementation of the algorithm in Java with the provision of modularity of the program code with the creation of a graphical user interface.
3. Testing of the developed software using the example of solving the model problem of allocating investments between events.

The hypothesis of the study is that combining the criteria of game theory within a single software product makes it possible to effectively find optimal resource allocation strategies, the use of which is acceptable for many fields of activity. The study uses methods of game theory for decision-making in conditions of uncertainty, object-oriented programming, as well as modern technologies for building graphical interfaces to visualize the result. The achieved results include the written software implementation of choosing the optimal strategy in the Java programming language, and the created graphical user window. For convenience of perception, the work of each criterion is designed in a separate class.

T.G. Pomozova, V.V. Shishmareva

Automated Technical Documentation Management: Analysis and Prospects

Keywords: automated data management; corporate information systems; technical documentation; digital transformation; electronic documentation management; PLM system.

Abstract. The rapid development of digitalization in all spheres of public life makes the rejection of paper workflow an inevitable stage in the development of a modern enterprise. Increasing the efficiency of technical documentation management in an enterprise under the conditions of the development

of artificial intelligence technologies, cloud computing, and data management systems determines the relevance of the research.

The goal of the research is to justify the necessity and define the ways for industrial enterprises to transition from traditional documentation flow to modern automated technical documentation management systems.

An analysis was carried out, and the main advantages and limitations of electronic documentation management systems presented on the domestic market were identified. The necessity of developing a specialized module for processing technical documentation is substantiated.

It is noted that the most promising direction is the use of PLM systems, which provide end-to-end data management about the product and integration with other enterprise subsystems. A corporate client module for electronic documentation management, compliant with state and industry standards, is proposed.

A.V. Rubin, D.S. Serezleev, O.V. Kolosova

Automated Software Quality Monitoring System and Evaluation of Its Effectiveness

Keywords: automated monitoring; software quality; CI/CD; DORA; quality gate; CoQ/ROI.

Abstract. The paper presents an Automated Software Quality Monitoring System (ASQMS) integrated into the CI/CD pipeline for continuous collection and aggregation of indicators from VCS, static/dynamic analyzers, testing platforms, and operational telemetry. We introduce a composite Quality Index QIQIQI combining product metrics (test coverage, mutation score, complexity, defect density), process metrics (DORA: deployment frequency, change failure rate, MTTR, lead time), and operational indicators (service reliability, defect-escape rate). Statistical process control (EWMA/CUSUM), an NHPP-based reliability model, and quality gates are implemented to automate release decisions. The economic assessment follows the Cost of Quality framework with NPV, IR, and ROI over the deployment horizon. A pilot study indicates the feasibility of reducing production incidents and recovery time while keeping prevention and appraisal costs under control. The paper provides formulas, integration diagrams, and reporting templates to facilitate replication of ASQMS across organizations.

A.V. Rubin, D.S. Serezleev, O.V. Kolosova

Simulation Modeling and Project Complexity Management in Software Development

Keywords: simulation; project complexity; Critical Chain; WIP limit; evolutionary optimization; project digital twin.

Abstract. The paper presents a hybrid simulation framework for managing complexity in large-scale software development projects. We integrate discrete-event, agent-based and system-dynamics models to capture workflow, team behavior and technical-debt accumulation. Task durations (PERT), rework loops and resource constraints are formalized; a composite Project Complexity Index (CXI) is introduced to combine structural, organizational, technological and market volatility factors. A portfolio of management policies is evaluated, including WIP limits, Critical Chain buffers, prioritization rules (WSJF/SPT/EDF), test automation level and code-review depth. Policy parameters are tuned via evolutionary optimization over Monte-Carlo runs. Performance is assessed by deadline/budget overrun probability, lead time, throughput, Cost of Delay, SPI/CPI and quality metrics. Results indicate that tight WIP control at the bottleneck, Critical Chain buffering and high regression-test automation substantially reduce schedule risk with positive economic impact. We provide decision maps linking CXI profiles to recommended strategies and outline a practical rollout roadmap for organizations.

Current Standardization Trends in the Field of Information Technology: Integration of Management and Technology Standards

Keywords: standardization; cybersecurity; data protection; ISO/IEC 27001; NIST CSF; GOST R 57580.

Abstract. The paper explores current standardization trends in cybersecurity and data protection and their impact on IT development. We propose a universal compliance matrix (UCM) to benchmark managerial and technical standards across 12 domains (governance & risk, asset/configuration, IAM, data protection & privacy, secure development/DevSecOps, operations/change, monitoring/detection, incident response, resilience/BCP-DR, supplier management, cloud services, OT/ICS). The analysis covers international and national frameworks: ISO/IEC 27001:2022 and 27002:2022, ISO/IEC 27701, ISO/IEC 27017/27018, NIST CSF 2.0, NIST SP 800-53 rev.5, IEC 62443, PCI DSS 4.0, as well as GOST R 57580.x, Federal Laws 152 and 187. An economic compliance model accounts for CAPEX/OPEX, audit costs, and expected loss reduction (Δ ALE), enabling an optimal portfolio of standards under budget constraints and sector-specific profiles (CALIS/PLM, BIM/IFC, mobile learning, blockchain, AI). The comparative results identify overlaps and gaps (privacy, cloud, OT), highlight convergence of security-by-design and privacy-by-design, the emergence of profiles for AI systems, standardization of DevSecOps metrics, and strengthened supplier and supply-chain requirements.

I.D. Sidelnikov, T.Yu. Krutov

Organizational and Technical Factors in Predictive Equipment Maintenance Systems

Keywords: condition-based maintenance; organizational and technical factors; remaining useful life; predictive maintenance; maintenance and repair.

Abstract. The article analyzes the influence of organizational and technical factors on the effectiveness of predictive maintenance of industrial equipment. The aim of the study is to substantiate the significance of organizational and technical factors in the transition from scheduled preventive maintenance to condition-based maintenance. The research hypothesis assumes that taking organizational and technical factors into account makes it possible to increase equipment reliability and the readiness of the maintenance and repair system. The objective of the study is to refine the classification of organizational and technical factors and to analyze the nature of their impact on equipment reliability on the basis of expert evaluation. The results obtained include an extended classification of organizational and technical factors, a ranking of the degree of their influence on the reliability of operating equipment, and a justification of the need to incorporate these factors into hybrid predictive maintenance models.

A.A. Gudkov, L.V. Glukhova

A Model of Coordinated Interaction of IT Project Team and Its Economic Consequences

Keywords: project management; active systems theory; mathematical management model; methodology for solving coordinated management problems.

Abstract. Implementing the results of a team's intellectual activity during the development of a new IT project is always associated with the risk of unforeseen situations, which can significantly increase project costs. Although many approaches currently exist to improve management processes at all stages of project development, the issue of coordinated interaction of the team remains relevant. The inadequacy of the methodological description of project activity coordination issues justifies the relevance of this research topic and its choice. This article demonstrates the feasibility of developing a methodology for managing coordinated interaction in problem solving based on theory of active

systems. To this end, a set of key tasks was substantiated, the solution of which requires the application of theoretical, empirical, and statistical-mathematical methods, as well as the development of a practical tool.

I.V. Nikolaeva

On the Question of Electorate Clustering During Elections in the Republic of Sakha (Yakutia)

Keywords: electorate; clustering; data analysis.

Abstract. The purpose of this study is to apply data analysis methods to the study of contemporary social and political processes. The results of studies of electoral behavior in elections in the Republic of Sakha (Yakutia) are presented and analyzed. It is concluded that groups of voters with traditionally low turnout may demonstrate increased susceptibility to political mobilization under certain conditions and in the absence of political preferences, which indicates the consolidation of society.

A.O. Sheverdak, E.V. Filyushina

Industrial Digital Transformation: Regional Features and Socio-Economic Effects on the Example of the Krasnoyarsk Territory

Keywords: digital transformation; industrial digitalization; Krasnoyarsk Territory; industry; regional development; socio-economic effects; digital technologies.

Abstract. The article examines the processes of industrial digital transformation in a regional context using the Krasnoyarsk Territory as a case study. The main directions of digital technology implementation in the industrial sector are analyzed, including the industrial Internet of Things, big data analytics, automation, and intelligent production management systems. Special attention is paid to regional features of digital transformation related to industrial structure, infrastructure development, and human capital. The key socio-economic effects of industrial digital transformation in the Krasnoyarsk Territory are identified, including labor productivity growth, increased enterprise sustainability, and the creation of conditions for regional innovative development.

S.E. Esalnek, A.E. Zaenchkovsky, M.I. Dli, T.V. Kaktunova

Spatial and Temporal Analysis of the Impact of Innovation Processes on the Technological Development of Russian Regions: Economic Models of the Innovation Process

Keywords: innovation processes; technological development of regions; high-tech and knowledge-intensive industries; spatial temporal analysis; time lags; innovation activity; sectoral profile; correlation analysis.

Abstract. The purpose of the study is to analyze the impact of key factors that determine the dynamics of innovation processes in Russian regions by identifying the strength, direction, and temporal structure of their influence on the technological development of the economy. Special attention is given to assessing the nature of the innovation response and the role of the region's sectoral profile as a moderator of the relationship between innovation infrastructure and the outcomes of scientific and technological activity. Findings are as follows: the study reveals significant differences in the speed at which innovation effects manifest across Russian regions, confirming the lagged nature of technological development. The most immediate response is associated with the innovation activity of organizations, whereas the effects of innovation output and expenditures on technological innovations are characterized by substantial inertia. For the Smolensk Region, a mixed model of innovation response (with prevalences of lags -1 and -2) is identified, reflecting a combination of an old industrial structure with a limited scale of high-tech activity.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ List of Authors

<p>К.Р. АМИНОВА студент Казанского государственного энергетического университета, г. Казань E-mail: creationcam9@mail.ru</p>	<p>K.R. AMINOVA Student, Kazan State Power Engineering University, Kazan E-mail: creationcam9@mail.ru</p>
<p>О.Г. ГУБАЕВА кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретических основ электротехники Казанского государственного энергетического университета, г. Казань E-mail: mr.gubaev@mail.ru</p>	<p>O.G. GUBAEVA Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Theoretical Foundations of Electrical Engineering, Kazan State Power Engineering University, Kazan E-mail: mr.gubaev@mail.ru</p>
<p>С.Н. БАШКИРОВА кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры общей и педагогической психологии Пятигорского государственного университета, г. Пятигорск E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>	<p>S.N. BASHKIROVA Candidate of Sciences (Pharmaceutics), Associate Professor, Department of General and Educational Psychology, Pyatigorsk State University, Pyatigorsk E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>
<p>С.К. ЗУБАЛОВ студент Пятигорского медико-фармацевтического института – филиала Волгоградского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пятигорск E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>	<p>S.K. ZUBALOV Student, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – Branch of Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Pyatigorsk E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>
<p>А.Р. АЛИУМАРОВ студент Пятигорского медико-фармацевтического института – филиала Волгоградского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пятигорск E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>	<p>A.R. ALIUMAROV Student, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, a branch of the Volgograd State Medical University of the Russian Ministry of Health, Pyatigorsk E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>
<p>Ш.Б. АБДУЛЛАЕВ студент Пятигорского медико-фармацевтического института – филиала Волгоградского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пятигорск E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>	<p>SH.B. ABDULLAEV Student, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, a branch of the Volgograd State Medical University of the Russian Ministry of Health, Pyatigorsk E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>

<p>Б.Г. СУЛТАНОВ студент Пятигорского медико-фармацевтического института – филиала Волгоградского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пятигорск E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>	<p>B.G. SULTANOV Student, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, a branch of the Volgograd State Medical University of the Russian Ministry of Health, Pyatigorsk E-mail: frinigonda@yandex.ru</p>
<p>Д.А. БОГДАНОВ старший преподаватель Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск E-mail: dab38@tpu.ru</p>	<p>D.A. BOGDANOV Senior Lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk E-mail: dab38@tpu.ru</p>
<p>А.Н. ГАВРИЛИН доктор технических наук, профессор Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск E-mail: gawral@tpu.ru</p>	<p>A.N. GAVRILIN Doctor of Engineering, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk E-mail: gawral@tpu.ru</p>
<p>С.А. ВОРОНИН кандидат юридических наук, профессор Российской академии естественных наук; ректор Национального научно-исследовательского института, г. Москва E-mail: info@voroninpravo.ru</p>	<p>S.A. VORONIN Candidate of Science (Law), Professor, Russian Academy of Natural Sciences; Rector, National Research Institute, Moscow E-mail: info@voroninpravo.ru</p>
<p>И.В. ЗАЙЦЕВА кандидат физико-математических наук, заведующая кафедрой высшей математики и физики Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: irina.zaitseva.stv@yandex.ru</p>	<p>I.V. ZAITSEVA Candidate of Science (Physics and Mathematics), Head of Department of Higher Mathematics and Physics, Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg E-mail: irina.zaitseva.stv@yandex.ru</p>
<p>В.В. БОНДАРЬ кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой математического анализа, алгебры и геометрии Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь E-mail: viktori-bondar@yandex.ru</p>	<p>V.V. BONDAR Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Head of the Department of Mathematical Analysis, Algebra, and Geometry, North Caucasus Federal University, Stavropol E-mail: viktori-bondar@yandex.ru</p>
<p>М.М. КАЗНАЧЕЕВА доцент кафедры экономики и управления Невинномысского государственного гуманитарно-технического института, г. Невинномысск E-mail: o.k4znacheeva@yandex.ru</p>	<p>M.M. KAZNACHEEVA Associate Professor, Department of Economics and Management, Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute, Nevinnomyssk E-mail: o.k4znacheeva@yandex.ru</p>

<p>Т.Г. ОРЕШЕНКО кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: andreiter313@mail.ru</p>	<p>T.G. ORESHENKO Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Automatic Control Systems, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk E-mail: andreiter313@mail.ru</p>
<p>С.И. КУЛАГИНА студент Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: sofya-kulagina@mail.ru</p>	<p>S.I. KULAGINA Student, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk E-mail: sofya-kulagina@mail.ru</p>
<p>С.В. ПАЛЬМОВ кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики; доцент кафедры информатики и вычислительной техники Самарского государственного технического университета, г. Самара E-mail: s.palmov@psuti.ru</p>	<p>S.V. PALMOV Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics; Associate Professor, Department of Informatics and Computer Engineering, Samara State Technical University, Samara E-mail: s.palmov@psuti.ru</p>
<p>В.А. ЯКОВЛЕВ студент Самарского государственного экономического университета, г. Самара E-mail: qqqqbbpp@gmail.com</p>	<p>V.A. YAKOVLEV Student, Samara State University of Economics, Samara E-mail: qqqqbbpp@gmail.com</p>
<p>М.Р. ПРОКУДИН студент Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва E-mail: prokudinmr@student.bmstu.ru</p>	<p>M.R. PROKUDIN Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow E-mail: prokudinmr@student.bmstu.ru</p>
<p>А.Д. ЧЕРНОВ студент Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники», г. Москва E-mail: andreieiei@yandex.ru</p>	<p>A.D. CHERNOV Student, National Research University "Moscow Institute of Electronic Technology", Moscow E-mail: andreieiei@yandex.ru</p>
<p>Д.А. СКВОРЦОВА кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной логистики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва E-mail: skvortsova_da@bmstu.ru</p>	<p>D.A. SKVORTSOVA Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Industrial Logistics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow E-mail: skvortsova_da@bmstu.ru</p>

<p>Е.Г. РЫЖИКОВА кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий Брянского государственного инженерно-технологического университета, г. Брянск E-mail: e-izumova@mail.ru</p>	<p>E.G. RYZHIKOVA Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Information Technology, Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk E-mail: e-izumova@mail.ru</p>
<p>А.С. ТЕРЕНТЬЕВ студент Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: andreiter313@mail.ru</p>	<p>A.S. TERYTYEV Student, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk E-mail: andreiter313@mail.ru</p>
<p>Е.Е. ДРОКИН студент Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: andreiter313@mail.ru</p>	<p>E.E. DROKIN Student, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk E-mail: andreiter313@mail.ru</p>
<p>Н.А. ЧУРСИН магистрант МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва E-mail: n.chursin.ed@gmail.com</p>	<p>N.A. CHURSIN Master's Student, MIREA – Russian Technological University, Moscow E-mail: n.chursin.ed@gmail.com</p>
<p>Д.Ю. ИЛЬИН кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых технологий обработки данных МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва E-mail: i@dmitryilin.com</p>	<p>D.YU. ILIN Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Digital Data Processing Technologies, MIREA – Russian Technological University, Moscow E-mail: i@dmitryilin.com</p>
<p>Е.И. ИГНАТОВА кандидат технических наук, заведующая кафедрой компьютерной графики и информационного права Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: ignatova22@mail.ru</p>	<p>E.I. IGNATOVA Candidate of Sciences (Engineering), Head of Department of Computer Graphics and Information Law, Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg E-mail: ignatova22@mail.ru</p>
<p>И.С. ФРОЛОВ кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной графики и информационного права Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: frolovtrubach@mail.ru</p>	<p>I.S. FROLOV Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Computer Graphics and Information Law, Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg E-mail: frolovtrubach@mail.ru</p>
<p>Ф.В. СВОЙКИН кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной графики и информационного права Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, г. Санкт-Петербург E-mail: svoykin_fv@mail.ru</p>	<p>F.V. SVOYKIN Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Computer Graphics and Information Law, Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg E-mail: svoykin_fv@mail.ru</p>

<p>И.А. ПОГРЕБНАЯ кандидат педагогических наук филиала Тюменского индустриального университета, г. Нижневартовск E-mail: ya.irina0607@yandex.ru</p>	<p>I.A. POGREBNAYA Candidate of Sciences (Pedagogy), Branch of the Tyumen Industrial University, Nizhnevartovsk E-mail: ya.irina0607@yandex.ru</p>
<p>С.В. МИХАЙЛОВА кандидат педагогических наук филиала Тюменского индустриального университета, г. Нижневартовск E-mail: sweta02311@gmail.com</p>	<p>S.V. MIKHAILOVA Candidate of Sciences (Pedagogy), Branch of the Tyumen Industrial University, Nizhnevartovsk E-mail: sweta02311@gmail.com</p>
<p>Н.О. ТАПЕХА аспирант Санкт-Петербургского университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург E-mail: nikolaitapeha@yandex.ru</p>	<p>N.O. TAPEKHA Postgraduate Student, Peter the Great St. Petersburg University, St. Petersburg E-mail: nikolaitapeha@yandex.ru</p>
<p>А.С. ЧУРСИН генеральный директор ООО «РПМ», г. Санкт-Петербург E-mail: sales@rpmspb.ru</p>	<p>A.S. CHURSIN General Director, RPM LLC, St. Petersburg E-mail: sales@rpmspb.ru</p>
<p>О.А. ШМАКОВ кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург E-mail: Shmakov.o@yandex.ru</p>	<p>O.A. SHMAKOV Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg University, St. Petersburg E-mail: Shmakov.o@yandex.ru</p>
<p>А.М. КУДРЯВЦЕВА ведущий математик АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург E-mail: am.kudr95@gmail.com</p>	<p>A.M. KUDRIAVTSEVA Leading Mathematician, JSC NIEFA, St. Petersburg E-mail: am.kudr95@gmail.com</p>
<p>В.И. ШЕНДЕРОВ кандидат технических наук, профессор кафедры производственного и финансового менеджмента Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе, г. Москва E-mail: Shenderov@mgri.ru</p>	<p>V.I. SHENDEROV Candidate of Sciences (Engineering), Professor, Department of Production and Financial Management, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow E-mail: Shenderov@mgri.ru</p>
<p>А.В. ИСТОМИН старший преподаватель кафедры систем управления транспортной инфраструктурой Российского университета транспорта, г. Москва E-mail: aistomin1998@mail.ru</p>	<p>A.V. ISTOMIN Senior Lecturer, Department of Transport Infrastructure Control Systems, Russian University of Transport, Moscow E-mail: aistomin1998@mail.ru</p>
<p>А.В. ГОРЕЛИК доктор технических наук, профессор, директор Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта, г. Москва E-mail: aistomin1998@mail.ru</p>	<p>A.V. GORELIK Doctor of Engineering, Professor, Director of the Institute of Transport Engineering and Control Systems, Russian University of Transport, Moscow E-mail: aistomin1998@mail.ru</p>

<p>С.О. СИНЕЛЬНИКОВ начальник аналитического отдела отделения автоматизации и телемеханики Проектно-конструкторского бюро по инфраструктуре – филиала ОАО «РЖД», г. Москва E-mail: aistomin1998@mail.ru</p>	<p>S.O. SINELNIKOV Head of the Analytical Department, Automation and Telemechanics Division, Infrastructure Design Bureau, a branch of JSC Russian Railways, Moscow E-mail: aistomin1998@mail.ru</p>
<p>Е.В. КУЗЬМИНА ассистент кафедры систем управления транспортной инфраструктурой Российского университета транспорта, г. Москва E-mail: aistomin1998@mail.ru</p>	<p>E.V. KUZMINA Assistant Lecturer, Department of Transport Infrastructure Control Systems, Russian University of Transport, Moscow E-mail: aistomin1998@mail.ru</p>
<p>Т.Г. ПОМОЗОВА кандидат технических наук, доцент кафедры технологий предпринимательства и права Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург E-mail: pomozova-tatyana@yandex.ru</p>	<p>T.G. POMOSOVA Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Entrepreneurship Technologies and Law, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg E-mail: pomozova-tatyana@yandex.ru</p>
<p>В.В. ШИШМАРЕВА магистрант Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург E-mail: shishmareva.valeria@yandex.ru</p>	<p>V.V. SHISHMAREVA Master's Student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg E-mail: shishmareva.valeria@yandex.ru</p>
<p>А.В. РУБИН аспирант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург E-mail: a.rubin@pkfuture</p>	<p>A.V. RUBIN Postgraduate Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg E-mail: a.rubin@pkfuture</p>
<p>Д.С. СЕРЕЗЛЕЕВ аспирант, руководитель направления по исследованию данных Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург E-mail: serezleevds@gmail.com</p>	<p>D.S. SEREZLEEVEV Postgraduate Student, Head of Data Research, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg E-mail: serezleevds@gmail.com</p>
<p>О.В. КОЛОСОВА доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург E-mail: okolosova@spbstu.ru</p>	<p>O.V. KOLOSOVA Doctor of Engineering, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg E-mail: okolosova@spbstu.ru</p>
<p>И.Д. СИДЕЛЬНИКОВ кандидат экономических наук, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной логистики Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва E-mail: sid@bmstu.ru</p>	<p>I.D. SIDELNIKOV Candidate of Science (Economics), Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Industrial Logistics, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow E-mail: sid@bmstu.ru</p>

<p>Т.Ю. КРУТОВ ассистент кафедры систем обработки информации и управления Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва E-mail: krutov@bmstu.ru</p>	<p>T.YU. KRUTOV Assistant Lecturer, Department of Information Processing and Control Systems, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow E-mail: krutov@bmstu.ru</p>
<p>А.А. ГУДКОВ аспирант Поволжского государственного университета сервиса, г. Тольятти E-mail: tonyg.ya@yandex.ru</p>	<p>A.A. GUDKOV Postgraduate Student, Volga Region State University of Service, Tolyatti E-mail: tonyg.ya@yandex.ru</p>
<p>Л.В. ГЛУХОВА доктор экономических наук, профессор Поволжского государственного университета сервиса, г. Тольятти E-mail: prof.glv@ya.ru</p>	<p>L.V. GLUKHOVA Doctor of Economic Sciences, Professor, Volga Region State University of Service, Tolyatti E-mail: prof.glv@ya.ru</p>
<p>И.В. НИКОЛАЕВА кандидат экономических наук, доцент Института математики и информатики Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск E-mail: iva.nikolaeva@s-vfu.ru</p>	<p>I.V. NIKOLAEVA Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Institute of Mathematics and Informatics, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk E-mail: iva.nikolaeva@s-vfu.ru</p>
<p>А.О. ШЕВЕРДАК студент Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: super.sheverdak@yandex.ru</p>	<p>A.O. SHEVERDAK Student, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk E-mail: super.sheverdak@yandex.ru</p>
<p>Е.В. ФИЛЮШИНА кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных экономических систем Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: Filyushina@sibsau.ru</p>	<p>E.V. FILYUSHINA Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Information Economic Systems, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk E-mail: Filyushina@sibsau.ru</p>
<p>С.Е. ЭСАЛЬНЕК аспирант филиала Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Смоленск E-mail: kirillova.el.al@yandex.ru</p>	<p>S.E. ESALNEK Postgraduate Student, National Research University "MPEI" Branch, Smolensk E-mail: kirillova.el.al@yandex.ru</p>
<p>А.Э. ЗАЕНЧКОВСКИЙ доктор экономических наук, доцент Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Смоленск E-mail: kirillova.el.al@yandex.ru</p>	<p>A.E. ZAENCHKOVSKY Doctor of Economics, Associate Professor, National Research University "MPEI", Smolensk E-mail: kirillova.el.al@yandex.ru</p>

М.И. ДЛИ

доктор технических наук, профессор Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Смоленск

E-mail: kirillova.el.al@yandex.ru

M.I. DLI

Doctor of Engineering, Professor, National Research University "MPEI", Smolensk

E-mail: kirillova.el.al@yandex.ru

Т.В. КАКТУНОВА

доктор экономических наук, профессор Национального исследовательского университета «МЭИ», г. Смоленск

E-mail: kirillova.el.al@yandex.ru

T.V. KAKTUNOVA

Doctor of Economics, Professor, National Research University "MPEI", Smolensk

E-mail: kirillova.el.al@yandex.ru

ДЛЯ ЗАМЕТОК

НАУКА И БИЗНЕС: ПУТИ РАЗВИТИЯ
SCIENCE AND BUSINESS: DEVELOPMENT WAYS
№ 12(174) 2025
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Подписано в печать 23.12.2025 г.
Формат журнала 60×84/8
Усл. печ. л. 23,11. Уч.-изд. л. 11,46.
Тираж 1000 экз.