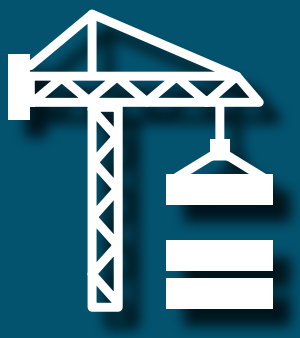
РОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования

04/2026
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



ЦИФРОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ : ПОДХОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ВНЕДРЕНИЯ

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ В ХОДЕ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА

РАЗВИТИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

iea.gostinfo.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

4/2026 (91)

УЧРЕДИТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)
Российская Федерация, 117418,
г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, корп. 2

Свидетельство о регистрации СМИ
Эл № ФС77-85390.
Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 13.06.2023.

Журнал является самостоятельным сетевым периодическим текстовым научным электронным изданием, распространяется исключительно с использованием информационно-телекоммуникационных сетей

РЕДАКЦИЯ

Руководитель К.В. Костылева
Редактор С.П. Арянина
Верстка К.П. Пегова, А.М. Цветкова
Корректор Л.С. Лысенко

АДРЕС РЕДАКЦИИ

Российская Федерация,
117418, Москва,
Нахимовский пр-т, д. 31, корп. 2
+7 (495) 531-26-03
ieastr@gostinfo.ru

ISSN 2311-1344

РОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Журнал «Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования» основан в 2011 году.

Издается Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»).

Журнал осуществляет публикацию статей по теоретическим, техническим, информационным, методическим, организационным, экономическим и другим проблемам технического регулирования и стандартизации.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

Перепечатка материалов допускается только с письменного согласия редакции.

При использовании материалов ссылка на журнал обязательна.

Подписано в печать 31.08.2026.
Дата опубликования на сайте журнала iea.gostinfo.ru 31.08.2026.

Формат 60 × 90 1/8.
Усл. печ. л. 12.75.

© ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

РОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ СТАНДАРТИЗАЦИИ

СВЕДЕНИЯ О РЕЦЕНЗИРУЕМОМ НАУЧНОМ ИЗДАНИИ

ДАТА СОЗДАНИЯ
11.05.2011

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛЮЧЕНИИ ИЗДАНИЯ В СИСТЕМУ РОССИЙСКОГО ИНДЕКСА НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
26.08.2014 №503-08/2014

АДРЕС ОФИЦИАЛЬНОГО САЙТА В СЕТИ “ИНТЕРНЕТ” http://iea.gostinfo.ru/

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТАНДАРТНЫЙ НОМЕР СЕРИАЛЬНОГО ИЗДАНИЯ (ISSN) 2311-1348

ТЕМАТИКА СТАТЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, должна соответствовать следующим специальностям научных работников (согласно номенклатуре, утвержденной приказом Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118):

2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки)

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства (технические науки)

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика. 12. Стандартизация и управление качеством продукции (экономические науки)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

АРОНОВ И.З.
член редакционного совета, ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук, профессор

БУДКИН Ю.В.
заместитель главного редактора, ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук, профессор

БУРЫЙ А.С.
член редакционного совета, ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук

МИРОНОВ Д.Е.
главный редактор, председатель редакционного совета, ФГБУ «Институт стандартизации», кандидат экономических наук

МЕШАЛКИН В.П.
член редакционного совета, Академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ; заслуженный работник высшей школы РФ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

НАУЧНАЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 5.2.3

АНТОНОВА И.И.
Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирясова (ИЭУП), доктор экономических наук, профессор

ГОРБАШКО Е.А.
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», проректор по научной работе, заведующий кафедрой, доктор экономических наук, профессор

ЖУРАВЛЕВА Т.Б.
ФГБУ «НИЦИ» МИД России, доктор экономических наук, профессор

ЗАЙЦЕВ А.Г.
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, доктор экономических наук, профессор

МИХАЛЬЧЕНКОВА Н.А.
государственная публичная научно-техническая библиотека России», генеральный директор, кандидат экономических наук, доктор политических наук

САЛИМОВА Т.А.
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, директор экономического института, доктор экономических наук, профессор

НАУЧНАЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 5.2.22

АРОНОВ И.З.
ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук, профессор

КОЗЛОВСКИЙ В.Н.
Самарский государственный технический университет, заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор

ОДИНОКОВ С.А.
ФГБУ «Институт стандартизации», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (НИУ)», доктор технических наук, профессор

ОПАРИНА Л.А.
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», заведующий кафедрой

СИРОТКИН Р.О.
ФГБУ «Институт стандартизации», кандидат технических наук

ФРОЛОВ В.А.
ФГБУ «Институт стандартизации», доктор технических наук, профессор

ШИНКЕВИЧ А.И.
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор

НАУЧНАЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 2.3.8

ГАРБУК С.В.
ВИНИТИ РАН, кандидат технических наук

ЗЫКОВ С.В.
НИУ «Высшая школа экономики», доктор технических наук, профессор

ОМЕЛЬЧЕНКО В.В.
АО «ВПК «НПО машиностроения», доктор технических наук, профессор

САРАТОВА Т.Е.
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
доктор технических наук, доцент

СУХОВ А.В.
ФКУ «НПО «Специальная техника и связь» МВД России, доктор технических наук, профессор

ТРОФИМОВ С.В.
ФГБУ «Институт стандартизации», кандидат экономических наук

Содержание 4/2026 (91)

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ ТУРИСТИЧЕСКИХ ТРОП В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И СИСТЕМНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
Рахманов М.Л., Коробейников Э.Е. 4

НОРМАТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИРИЖАБЛЕЙ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ
Куприков М.Ю., Куприков Н.М., Калинин М.Н., Изотова С.Г., Стреха А.А., Доронин Д.О. 8

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ

МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СЕТЕВОГО НАУЧНОГО ИЗДАНИЯ
Бурый А.С., Костылева К.В. 15

МУЛЬТИМОДАЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТЕКСТНОГО ПОНИМАНИЯ СЦЕН
Морозов В.П., Марченко Н.В., Капацын Д.В. 21

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ

О НЕОБХОДИМОСТИ И СПОСОБАХ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ КАЛИБРОВКУ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА ОПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ
Лаврик В.В. 27

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ
Садреев Ф.Г., Молчанова Ю.О. 33

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕКСТУРЫ
Назаров Д.В. 42

ЭКОНОМИКА ИННОВАЦИЙ

ЦИФРОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ПОДХОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ВНЕДРЕНИЯ
Пелешок А.А. 47

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКЛЮЧЕНИЯ ГОСКОНТРАКТА НА ПОСТАВКУ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ НУЖД ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА (ЧАСТЬ 1)
Гусев В. И., Малыхина И. В. 52

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ В ХОДЕ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА
Филатов И.Н., Кузьминский И.В. 57

ДОСТИЖЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕГИОНА ПОСРЕДСТВОМ РЕАЛИЗАЦИИ КРУПНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
Какаджанов В. 67

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СИСТЕМ: ОБЗОР СВОЙСТВ, МОНИТОРИНГА И НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ
Высотин Ю.А., Карпов И.Д. 72

ВЕРОЯТНОСТНО-ОБОСНОВАННОЕ НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД: ИНТЕГРАЦИЯ ОЦЕНКИ МОДЕЛЕЙ, ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА И ИИ-ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНДАРТОВ
Самбурский А.Г., Розенталь О.М. 79

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ НА ПРОИЗВОДСТВАХ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Карташов К.В. 88

РАЗВИТИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И БЕЗОПАСНОСТИ В ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Мешалкин В.П., Грозовский Г.И., Макушкин А.С. 95

УДК 338.48

НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДХОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕШЕХОДНЫХ ТУРИСТИЧЕСКИХ ТРОП В РОССИИ

THE NEED TO IMPROVE APPROACHES TO ORGANIZING PEDESTRIAN HIKING TRAILS IN RUSSIA

Рахманов М.Л., д-р техн. наук, научный сотрудник научного центра ФГБУ «Институт стандартизации» (Москва, Россия)

Коробейников Э.Е., аспирант, ФГБУ «Институт стандартизации» (Москва, Россия)

Rakhmanov M.L., Doctor of Technical Sciences, Research Scientist at the Scientific Center, Russian Standardization Institute (Moscow, Russia)

Korobeinikov E.E., PhD Student, Russian Standardization Institute (Moscow, Russia)

В статье обозначены системные пробелы в нормативно-правовом регулировании туристических троп в Российской Федерации и обоснованы направления их устранения. Показана неполнота существующей нормативной базы, проявляющаяся в отсутствии классификации туристских троп как объектов инфраструктуры, несогласованности земельно-имущественного регулирования на землях различных категорий и пробелах в экологическом нормировании рекреационных нагрузок. Обоснована необходимость категорирования троп по уровню обустроенности, урегулирования публичного сервитута на межведомственном уровне и внедрения системы мониторинга соответствия.

Ключевые слова: туристические тропы, нормативно-правовое регулирование, стандартизация, классификация объектов инфраструктуры, земельные сервитуты, экологический мониторинг, особо охраняемые природные территории.

Для цитирования: Рахманов М.Л., Коробейников Э.Е. Необходимость совершенствования подходов организации пешеходных туристических троп в России // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 4–7.

The article identifies systemic gaps in the legal and regulatory framework governing tourist trails in the Russian Federation and outlines approaches to addressing them. It highlights the incompleteness of the existing regulatory framework, manifested in the lack of a classification for tourist trails as infrastructure assets, inconsistencies in land and property regulations across different land categories, and gaps in environmental standards regarding recreational impact. The article substantiates the need to categorize trails based on their level of development, regulate public easements at the interagency level, and implement a system for monitoring compliance.

Keywords: hiking trails, legal and regulatory framework, standardization, classification of infrastructure facilities, land easements, environmental monitoring, specially protected natural areas.

For citation: Rakhmanov M.L., Korobeinikov E.E. The need to improve approaches to organizing pedestrian hiking trails in Russia // Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026. 4(91): 4–7. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Туристическая инфраструктура, в т.ч. пешеходные тропы, выступает значимым элементом обеспечения безопасности, доступности и комфорта граждан при осуществлении рекреационной деятельности. В последние годы в Российской Федерации на государственном уровне предпринимаются системные усилия по развитию внутреннего туризма, что нашло отражение в Стратегии развития туризма до 2035 года[1], где оборудованные пешие маршруты отнесены к элементам туристской инфраструктуры, подлежащим государственной поддержке.

Вместе с тем, как обосновано в предшествующих исследованиях авторов [1], нормативно-правовое регулирование туристических троп существенно отстает от уровня регулирования туристической отрасли в целом. При этом создается правовая неопределенность при создании, эксплуатации и финансировании троп, что препятствует формированию единых стандартов качества и безопасности.

В научной литературе вопросы правового регулирования туризма рассматриваются преимущественно в рамках общих положений Федерального закона № 132-ФЗ[2], понятия «туристский продукт» и договорных отношений в сфере

[1] Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 20.09.2019 № 2129-р // Собрание законодательства РФ. – 2019. – № 40. – Ст. 5603.

[2] Федеральный закон от 24.11.1996 № 132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» (ред. от 02.07.2025) // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 49. – Ст. 5491.

туризма [2]. Специфика туристических троп как линейных некапитальных объектов инфраструктуры, проходящих по землям различных категорий, остается за рамками системных научных исследований. В работах, посвященных экологическому туризму [3], акцент делается на общих требованиях к услугам, но не затрагиваются вопросы земельно-имущественных отношений и классификации троп.

Анализ текущего состояния нормативно-правого регулирования туристических троп в Российской Федерации проводился авторами на основе:

- оценки полноты законодательной базы туризма в РФ и места в ней инфраструктуры туристических троп;
- детального анализа действующих национальных стандартов и законопроекта № 934622-8;
- выявления правовых пробелов и определения межведомственных коллизий;
- обоснования приоритетных направлений совершенствования нормативно-правовой базы.

Объектом исследования выступают общественные отношения, складывающиеся в процессе создания, эксплуатации и государственного регулирования туристических троп как объектов инфраструктуры.

Предмет исследования – совокупность нормативных правовых актов, национальных стандартов и законопроектов, регулирующих деятельность по созданию и функционированию туристических троп в Российской Федерации.

Методологическая основа исследования сформирована на базе общенаучных и специальных юридических методов познания [4]. Для анализа содержания действующих нормативных правовых актов (Федеральный закон № 132-ФЗ, Земельный кодекс, Лесной кодекс, Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях») и национальных стандартов (ГОСТ Р 70586–2022, ГОСТ Р 70585–2022, ГОСТ Р 56642–2021) с целью выявления легальных дефиниций, требований и пробелов правового регулирования авторами использовался формально-юридический метод.

Сравнительно-правовой метод – использован для сопоставления норм различных отраслей законодательства (туристского, земельного, лесного, природоохранного) применительно к регулированию одного объекта – туристской тропы, а также для оценки соответствия законопроекта № 934622-8 действующему законодательству.

Метод правового моделирования позволил сформулировать предложения по совершенствованию нормативной базы, в т.ч. разработку классификатора троп и порядка сертификации.

Эмпирическую базу исследования составили:

- Федеральный закон от 24.11.1996 № 132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в РФ»[3];
- национальные стандарты ГОСТ Р 70586–2022, ГОСТ Р 70585–2022, ГОСТ Р 56642–2021[4];
- проект федерального закона № 934622-8;
- официальный отзыв Правительства РФ на указанный законопроект;
- Стратегия развития туризма до 2035 года; аналитические материалы Агентства стратегических инициатив[5].

Фундаментом законодательства о туризме в РФ выступает Федеральный закон от 24.11.1996 № 132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в РФ»[6]. В рамках закона определены основные понятия «туристский маршрут», «туристский продукт», принципы государственного регулирования и безопасности туризма. Дополнительно действует Стратегия развития туризма до 2035 года, где оборудованные пешие маршруты отнесены к элементам туристской инфраструктуры, подлежащим государственной поддержке[7].

Проблема заключается в том, что в указанных документах отсутствует понятие «туристская тропа» как самостоятельный объект правового регулирования. Закон оперирует общими категориями, не учитывая специфики линейной некапитальной инфраструктуры. Как следствие, возникает правовая неопределенность при создании, эксплуатации и финансировании троп, а также при разграничении полномочий между федеральными, региональными и муниципальными органами власти.

В настоящее время принят ограниченный перечень национальных стандартов, непосредственно касающихся туристических троп.

ГОСТ Р 70586–2022 устанавливает минимальные требования к обустройству троп для обеспечения безопасности туристов и охраны окружающей среды[8]. Стандарт касается исключительно вопросов безопасности, практически не затрагивая комфорт и информационное обеспечение.

[3] Федеральный закон от 24.11.1996 № 132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» (ред. от 02.07.2025) // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 49. – Ст. 5491.

[4] ГОСТ Р 56642–2021. Туристские услуги. Экологический туризм. Общие требования. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.

[5] Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 20.09.2019 № 2129-р // Собрание законодательства РФ. – 2019. – № 40. – Ст. 5603.

[6] Федеральный закон от 24.11.1996 № 132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» (ред. от 02.07.2025) // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 49. – Ст. 5491.

[7] Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 20.09.2019 № 2129-р // Собрание законодательства РФ. – 2019. – № 40. – Ст. 5603.

[8] ГОСТ Р 70586–2022. Туризм и сопутствующие услуги. Туристские тропы. Обустройство троп в целях обеспечения безопасности туристов и охраны окружающей среды. Минимальные требования. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 26 с.

ГОСТ Р 70585–2022 регламентирует требования по маркировке троп[9].

ГОСТ Р 56642–2021 устанавливает общие требования к экологическому туризму[10].

Недостатки действующих стандартов:

— отсутствие разделения троп по уровню сложности, обустроенности и допустимой рекреационной нагрузке;

— отсутствие требований к экологической устойчивости, кроме общих запретов на загрязнение;

— отсутствие порядка сертификации и категорирования троп.

Существующая стандартизация носит фрагментарный характер и недостаточна для системного развития инфраструктуры туристических троп.

В июне 2025 года в Государственную Думу был внесен законопроект, направленный на формирование Национальной системы туристических троп[11].

Законопроектом предусматривается:

— введение легального определения «туристской тропы»;

— категорирование троп по уровням: федеральные, региональные, муниципальные, на ООПТ;

— создание Единого реестра туристских троп;

— установление возможности публичного сервитута для создания троп на государственных землях.

Согласно официальному отзыву Правительства РФ от 08.07.2025 № ДГ-П44-24908 законопроект требует существенной доработки по следующим направлениям[12]:

— отсутствует согласованность с земельным, лесным и природоохранным законодательством;

— на землях сельхозназначения и ООПТ возникают коллизии с Земельным кодексом и Федеральным законом «Об ООПТ»;

— реестр будет содержать все тропы без разграничения требований к ним.

На основе проведенного анализа выделены системные правовые пробелы (таблица):

Системные пробелы в нормативно-правовом регулировании туристических троп в РФ

№	Пробел	Суть проблемы	Необходимая доработка
1	Отсутствие легальной классификации троп	Нет разграничения по сложности, инфраструктуре, доступности для разных групп населения	Разработка и утверждение классификатора троп
2	Межведомственные и земельные коллизии	Тропы проходят по землям разных категорий (лесной фонд, ООПТ, сельхозземли), каждая со своим режимом. Сервитут не урегулирован	Внесение изменений в Земельный, Лесной кодексы и закон «Об ООПТ» для сквозного регулирования троп
3	Отсутствие экологических нормативов	Нет предельно допустимых рекреационных нагрузок, требований к биоразлагаемости материалов, управлению отходами	Разработка ГОСТа или свода правил по экологической устойчивости троп
4	Отсутствие порядка сертификации и мониторинга	Не определены субъекты, основания и периодичность присвоения категории и обследования троп	Утверждение порядка сертификации (добровольной или обязательной) и регламента мониторинга состояния троп

Вышеизложенное свидетельствует о том, что нормативно-правовое регулирование туристических троп в Российской Федерации находится в стадии активного, но незавершенного формирования. Выявленные пробелы имеют системный характер и требуют комплексного решения на межотраслевом уровне.

Проблема заключается в том, что туристская тропа как объект правового регулирования находится на пересечении нескольких отраслей законодательства – туристского, земельного, лесного, природоохранного и градостроительного. Отсутствие единого понятийного аппарата и координации между ведомствами приводит к правовой неопределенности и невозможности эффективного управления такими объектами.

Особого внимания заслуживает вопрос классификации туристических троп. Как обосновано в работе авторов [1], целесообразна структуризация инфраструктурных элементов по пяти категориям: базовая, комфортная, информационная, коммерческая и экологическая. Такой подход поможет дифференцировать требования к обустройству, безопасности и обслуживанию троп в зависимости от их целевого назначения и уровня рекреационной нагрузки. Для законодательного закрепления данной классифика-

[9] ГОСТ Р 70585–2022. Туризм и сопутствующие услуги. Туристские тропы. Требования по маркировке троп. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 18 с.
[10] ГОСТ Р 56642–2021. Туристские услуги. Экологический туризм. Общие требования. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.
[11] Проект федерального закона № 934622-8 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» (ред., принятая в первом чтении) // СОЗД ГАС «Законотворчество». – URL: https://sozd.duma.gov.ru/bill/934622-8 (дата обращения: 25.04.2026).
[12] Официальный отзыв на проект федерального закона № 934622-8: письмо Правительства РФ от 08.07.2025 № ДГ-П44-24908 //

ции на первом этапе требуется разработка соответствующих национальных стандартов.

Важным аспектом является также земельно-имущественный вопрос. Тропы, как правило, проходят по землям различных категорий – лесного фонда, особо охраняемых природных территорий, земель сельскохозяйственного назначения. Каждая категория имеет свой правовой режим, что создает препятствия для создания и эксплуатации линейных объектов. Установление публичного сервитута, как предлагается в законопроекте № 934622-8, является перспективным механизмом, однако требует согласования с отраслевыми кодексами и учета интересов правообладателей земельных участков.

Наконец, экологический аспект остается недостаточно проработанным. Отсутствие нормативов предельно допустимых рекреационных нагрузок, требований к экологическим материалам и управлению отходами может привести к деградации природных комплексов при неконтролируемом росте туристического потока. Как показывает международный опыт (например, в США и странах Европы), внедрение системы экологического мониторинга и лимитирования нагрузки является обязательным условием устойчивого развития троповой инфраструктуры.

Таким образом, для совершенствования организации пешеходных туристических троп в Российской Федерации необходимо:

— принять профильный закон с четкими отсылочными нормами к отраслевым кодексам (Земельному, Лесному, Водному, Градостроительному);

— разработать и утвердить классификатор туристических троп как основу для стандартизации и категорирования;

— установить порядок сертификации, добровольной или обязательной, и регламент экологического мониторинга состояния троп;

— внести изменения в Земельный и Лесной кодексы, а также в Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» для обеспечения сквозного регулирования земельно-имущественных отношений при создании троп.

Список литературы

1. Коробейников Э.Е., Рахманов М.Л. Разработка требований к системам классификации туристических троп в России // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2025. – № 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-trebovaniy-k-sistemam-klassifikatsii-turisticheskih-trop-v-rossii (дата обращения: 14.05.2026).
2. Пешие походы – самое популярное направление активного туризма в России // РБК Компании. – 2024. – 15 марта. – URL: https://companies.rbc.ru/news/… (дата обращения: 25.04.2026).
3. Технологии и практики организации туристических троп и сопутствующей инфраструктуры: аналитический доклад АСИ. – М.: Агентство стратегических инициатив, 2024. – 87 с. – URL: https://asi.ru/library/vnutrenniy-turizm/202815/ (дата обращения: 25.04.2026).
4. Сергиенко С.Ю. Трансформация правового понимания туристского продукта: от унификации к дифференцированному регулированию // Юридические исследования. – 2025. – № 12. – С. 20–34. – DOI: 10.25136/2409-7136.2025.12.77381.
5. Роскачество приступило к оценке соответствия туристических троп // Официальный сайт Роскачества. – 2025. – 14 июля. – URL: https://rskrf.ru/news/roskachestvo-pristupilo-k-otsenke-sootvetstviya-turisticheskikh-trop/ (дата обращения: 25.04.2026).

References

1. Korobeynikov E.E., Rakhmanov M.L. Development of Requirements for Classification Systems of Tourist Trails in Russia // Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. – 2025. – No. 4. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-trebovaniy-k-sistemam-klassifikatsii-turisticheskih-trop-v-rossii (accessed: 14.05.2026).
2. Hiking is the Most Popular Active Tourism Destination in Russia // RBC Companies. – 2024. – March 15. – URL: https://companies.rbc.ru/news/… (accessed: 25.04.2026).
3. Technologies and Practices of Organizing Tourist Trails and Related Infrastructure: Analytical Report by the Agency for Strategic Initiatives. – Moscow: Agency for Strategic Initiatives, 2024. – 87 p. – URL: https://asi.ru/library/vnutrenniy-turizm/202815/ (accessed: 25.04.2026).
4. Sergienko S.Yu. Transformation of the Legal Understanding of a Tourist Product: From Unification to Differentiated Regulation // Legal Research. – 2025. – No. 12. – Pp. 20–34. – DOI: 10.25136/2409-7136.2025.12.77381.
5. Roskachestvo Has Started Assessing the Compliance of Tourist Trails // Official Website of Roskachestvo. – 2025. – July 14. – URL: https://rskrf.ru/news/roskachestvo-pristupilo-k-otsenke-sootvetstviya-turisticheskikh-trop/ (accessed: 25.04.2026).

УДК 629.7.015

НОРМАТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИРИЖАБЛЕЙ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

REGULATORY AND TECHNICAL FRAMEWORK FOR THE DESIGN, MANUFACTURE, AND OPERATION OF AIRSHIPS IN FOREIGN COUNTRIES

Куприков М.Ю., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой 904 «Инженерная графика», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Росссия)

Куприков Н.М., д-р эконом. наук, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры 101 «Проектирование и сертификация авиационной техники», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)

Калинин М.Н., канд. техн. наук, генеральный директор, Долгопрудненское конструкторское бюро автоматики (Долгопрудный, Россия)

Изотова С.Г., начальник управления унификации, стандартизации и каталогизации, Долгопрудненское конструкторское бюро автоматики (Долгопрудный, Россия)

Стреха А.А., главный специалист управления унификации, стандартизации и каталогизации, Долгопрудненское конструкторское бюро автоматики (Долгопрудный, Россия)

Доронин Д.О., заместитель начальника отдела разработки и внедрения перспективных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (Санкт-Петербург, Россия)

Kuprikov M.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department 904 «Engineering Graphics», Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia)

Kuprikov N.M., Doctor of Science in Economics, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Professor of Department 101 «Design and Certification of Aviation Equipment», Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia)

Kalinin MN., Ph.D. in Engineering, General Director, Dolgoprudny Automation Design Bureau (Dolgoprudny, Russia)

Izotova S.G., Head of the Department of Unification, Standardization, and Cataloging, Dolgoprudny Automation Design Bureau (Dolgoprudny, Russia)

Strekha A.A., Chief Specialist of the Department of Unification, Standardization, and Cataloging, Dolgoprudny Automation Design Bureau, Dolgoprudny (Moscow, Russia)

Doronin D.O., Deputy Head of the Department for the Development and Implementation of Advanced Technologies, Mendeleev Russian Scientific Research Institute of Metrology (St. Petersburg, Russia)

Показано, что дирижабль как объект проектирования, производства и эксплуатации представляет собой сложную техническую систему, которая для своего успешного функционирования на всех стадиях жизненного цикла должна соответствовать установленным требованиям нормативного технического обеспечения. Раскрыты основные направления исследований в области нормативного технического обеспечения дирижаблестроения в зарубежных странах на современном этапе, показано, что базовыми документами в данной области за рубежом являются международные и национальные Нормы летной годности. Представлены результаты ретроспективного анализа разработки и применения данных документов, рассмотрено содержание наиболее значимых из них в области дирижаблестроения, показана возможность их использования в качестве методической основы при разработке российских нормативных технических документов, обоснована объективная необходимость формирования на этой основе системы стандартов, конкретизирующих и развивающих требования Норм летной годности применительно к составным частям и элементам дирижабля.

It is shown that an airship, as an object of design, manufacturing, and operation, constitutes a complex technical system that, in order to function successfully at all stages of its life cycle, must comply with established regulatory technical requirements. This paper outlines the main areas of research in the field of regulatory technical support for airship construction in foreign countries at the present time and demonstrates that international and national airworthiness standards serve as the foundational documents in this field abroad. The results of a retrospective analysis of the development and application of these documents are presented; the content of the most significant ones in the field of airship construction is examined; the possibility of using them as a methodological basis for the development of Russian regulatory technical documents is demonstrated; and the objective necessity of forming, on this basis, a system of standards that specify and expand upon the requirements of the Airworthiness Standards as they apply to airship components and elements.

Ключевые слова: дирижабль, зарубежные страны, летная годность, нормативное техническое обеспечение, нормы летной годности, проектирование, производство, эксплуатация.

Для цитирования: Куприков М.Ю., Куприков Н.М., Калинин М.Н., Изотова С.Г., Стреха А.А., Доронин Д.О. Нормативное техническое обеспечение проектирования, производства и эксплуатации дирижаблей в зарубежных странах // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 8–14.

Keywords: airship, foreign countries, airworthiness, regulatory technical support, airworthiness standards, design, manufacturing, operation.

For citation: Kuprikov M.Yu., Kuprikov N.M., Kalinin M.N., Izotova S.G., Streha A.A. Regulatory and Technical Framework for the Design, Manufacture, and Operation of Airships in Foreign Countries // Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026. 4(91): 8–14. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

В науке, технике и других областях человеческой деятельности широко используется понятие «система». Под системой обычно подразумевается совокупность связанных друг с другом различных элементов, составляющих нечто целое. Создаваемые человеком машины, транспортные средства, летательные аппараты и т. д. обычно рассматриваются как сложные технические системы. Сложная техническая система представляет собой совокупность технических систем, выступающих по отношению к внешней среде и другим системам как единое целое для достижения общей для них цели. Для сложных систем характерно наличие в их составе новейших технических средств (автоматизированных систем управления, радиоэлектронных устройств и др.), использование новейших материалов и технологических процессов, применение методов анализа и синтеза систем с широким использованием новых информационных технологий и систем автоматизированного проектирования [1–5].

ДИРИЖАБЛЬ – БОЛЬШАЯ И СЛОЖНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Дирижабль как объект проектирования, производства и эксплуатации представляет собой сложную техническую систему, также состоящую из сложных технических систем или подсистем (корпус, гондола, силовая установка, система компенсации изменения газового объема и т. д.). Задачей стадии проектирования дирижабля является разработка конструкторской документации: схемы, структуры и конструкции дирижабля и составляющих его элементов. Особую роль на этой стадии играет этап предварительного проектирования. Известно, что на этом этапе, составляющем всего 5–10% от суммарных затрат труда на создание проекта, принимается более 70% решений, от качества которых в огромной мере зависит возможность последующей реализации проекта летательного аппарата (далее – ЛА) с заданными в техническом задании характеристиками [6–8].

Дирижабль, его характеристики, двигатели, размещенные на нем бортовое оборудование и системы должны обеспечивать надежное выполнение задач[1] и безопасную эксплуатацию, а также:

а) отвечать:

— своему функциональному назначению, определенному техническим заданием[2];

— требованиям Норм летной годности для соответствующей категории дирижаблей;

— общим техническим требованиям к компоновке пассажирских кабин и комплектующему пассажирскому, бытовому и вспомогательному оборудованию;

б) оборудование дирижабля должно быть стойким, прочным и устойчивым к воздействию механических, климатических и биологических факторов и специальных сред;

в) не должны превышать установленных значений:

— шума, создаваемого дирижаблем на местности (регламентируется требованиями Международной организации гражданской авиации (далее – ИКАО));

— шума, создаваемого в пассажирском отсеке и кабине экипажа гондолы дирижабля[3];

— уровня вибрации в пассажирском отсеке и кабине экипажа гондолы дирижабля[4];

— количества вредных веществ, пыли и газов[5];

г) условия работы экипажа (оборудование рабочих мест, мест для приема пищи и отдыха) должны отвечать санитарно-гигиеническим требованиям длительного полета продолжительностью более 8 часов;

д) ЛА должен обладать возможностью автономного действия.

[1] ГОСТ Р 71967.2 Аэростаты и дирижабли. Общие положения. Утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2025 г. № 463-ст.

[2] ГОСТ Р 71967.3 Аэростаты, дирижабли и воздухоплавательные комплексы. Классификация. Утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2025 г. № 464-ст.

[3] ГОСТ 20296–2014 Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума в салонах и кабинах экипажа и методы измерения шума. Введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 октября 2014 г. № 1354-ст.

[4] ГОСТ 23718–2014 Самолеты и вертолеты пассажирские и транспортные. Допустимые уровни вибрации в салонах и кабинах экипажа и методы измерения вибрации. Введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июля 2014 г. № 822-ст.

[5] ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29 сентября 1988 г. № 3388 (ред. от 20 июня 2000 г.).

Способ создания подъемной силы дирижабля должен быть комбинированным – с использованием сочетания аэростатической силы подъемного газа, вертикальной составляющей тяги поворотных несущетянущих винтов и аэродинамической подъемной силы корпуса ЛА (вместе с несущими поверхностями: хвостовым оперением, консолями силовой установки (далее – СУ) и, возможно, крыльями) в полете.

Компенсация аэростатической неуравновешенности (аэростатической недостаточности или избыточности) ЛА на всех режимах полета от взлета до посадки и во всем диапазоне изменения термодинамических параметров должна осуществляться без изменения массы подъемного газа, за исключением аварийных случаев.

Допускается сбалансированное изменение массы подъемного газа и балластировки ЛА, связанное с сезонным изменением температуры окружающего воздуха или перебазированием ЛА в другой географический район со значительными температурными отличиями, выходящими за пределы установленных в полетной области термодинамических параметров атмосферы и подъемного газа, а также для выполнения полетов на больших высотах или с увеличенными массами полезной нагрузки на предельно низких высотах.

Однако для того, чтобы осуществить проектирование, производство и эксплуатацию дирижабля как большой технической системы, необходимо соответствующее нормативно-техническое обеспечение. В этой связи представляется весьма важным рассмотреть опыт создания такого обеспечения в зарубежных странах.

НОРМАТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИРИЖАБЛЕЙ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

Результаты анализа показывают, что в настоящее время основные из экономически развитых стран (например, США, Германия, Нидерланды и др.) уделяют большое внимание исследованиям в области нормативного технического обеспечения жизненного цикла воздухоплавательной техники, причем как гражданского, так и военного назначения. Исследования осуществляются по следующим основным направлениям (см. схему):

1) использование стандартов для сертификации воздушных судов, их оборудования и комплектующих, которое осуществляется в основном через нормативные технические акты Федеральной авиационной администрации (далее – FAA) (например, NAS-SS-1000 «Спецификация Национальной системы воздушного пространства», FAA-STD-026 «Разработка программного обеспечения для национальной системы воздушного пространства», FAA Order 8130.34C «Сертификация летной годности беспилотных авиационных систем и опционально-пилотируемых воздушных судов» и др.);

2) утверждение Норм летной годности;

3) закрепление единообразной методики проведения расчетов аэростатов и дирижаблей (например, в США для дирижаблей применяются «Расчетные критерии дирижаблей» FAA. Они требуют, чтобы аппарат соответствовал всем критериям, применяемым к авиасредствам: система безопасности, допустимый ресурс полета, надежность узлов, экологические и иные параметры);

4) ускоренное развитие беспилотных авиационных систем;

5) сокращение расходов на проектирование, производство и эксплуатацию аэростатов и дирижаблей (стандартизация аэростатов в США проявляется, например, в консолидации контрактов и оптимизации системы TARS (Tethered Aerostat Radar System)).



Рис. 1 Основные направления исследований в области нормативного технического обеспечения жизненного цикла воздухоплавательной техники за рубежом

Особое место с точки зрения проектирования, производства и эксплуатации дирижаблей как сложных технических систем среди данных направлений занимает утверждение Норм летной годности, которое регламентируется требованиями ИКАО к Нормам летной годности гражданских ЛА. Нормы летной годности (далее – НЛГ) – свод государственных требований летной годности (далее – ЛГ) гражданских ЛА, направленных на обеспечение безопасности полетов. ЛГ ЛА определяется его способностью совершать безопасный полет во всем диапазоне установленных для него ожидаемых условий эксплуатации [1]. Выполнение требований НЛГ обязательно на всех этапах жизненного цикла гражданской авиатехники, в т. ч. и воздухоплавательной. Контроль за выполнением НЛГ осуществляется авиационными регистрами стран – членов Международной организации гражданской авиации (далее – ИКАО). Отступления от отдельных требований НЛГ допускаются, если их невыполнение компенсируется другими мерами, обеспечивающими эквивалентный уровень безопасности.

В настоящее время существуют международные НЛГ и национальные НЛГ. Международные НЛГ и рекомендации ЛГ разработаны ИКАО и впервые опубликованы в 1949 г. в качестве Приложения 8 к Чикагской конвенции

1944 г. Данное приложение включает требования ЛГ широкого плана и служит обязательной международной основой для разработки национальных НЛГ, которые обязано иметь каждое государство – член ИКАО. Для содействия государствам в применении Приложения 8 и разработке национальных норм ИКАО издала руководящий материал – Техническое руководство по ЛГ, содержащее подробные требования к ЛГ, которые ИКАО рекомендует использовать при разработке национальных НЛГ.

Страны – члены ИКАО имеют свои национальные НЛГ или распространяют на свою гражданскую авиатехнику действие НЛГ одной из передовых авиационных держав. Наибольшим авторитетом пользуются НЛГ США – Federal Aviation Regular (далее – FAR) и Великобритании – British Civil Airworthiness Requirements (BCAR), разработка и постоянное совершенствование которых ведутся с 30-х годов XX в. Начиная с 1970-х годов осуществляется разработка западноевропейских НЛГ, в создании которых участвуют страны Общего рынка. Первое издание этих НЛГ – Joint Airworthiness Requirements (далее – JAR) выпущено в 1974 г., за основу приняты НЛГ США, однако в отдельных разделах используются НЛГ Великобритании. В 1990-е годы российские НЛГ были гармонизированы с американскими и европейскими нормами, для них был установлен уровень ЛГ, аналогичный уровню ЛГ, предусмотренному FAR и JAR. Российские НЛГ в ряде случаев стали называться Авиационными правилами.

Для унифицированного подхода к оценке соответствия ЛА требованиям НЛГ разработаны Методы определения соответствия, включающие комплекс методов расчетов, моделирования, стендовых и летных испытаний, на основе которых проводится оценка соответствия характеристик летательного аппарата, его двигателей и оборудования требованиям НЛГ. В НЛГ предусматривается сочетание количественных и качественных требований к характеристикам и конструкции ЛА, его двигателей, оборудования, а также к методам пилотирования, относящимся к безопасности полета, и требований, устанавливающих допустимые вероятности возникновения в полете особых ситуаций различной степени опасности из-за отказов функциональных систем. Выполнение требований ЛГ должно быть подтверждено во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации. Такая система требований позволяет определить пределы эксплуатационной области полета, в которой должен обеспечиваться установленный Нормами уровень ЛГ, и защитить ЛА от выхода на критические режимы и условия полета. Структура и характер требований НЛГ позволяют конкретно учитывать их с начала проектирования, проводить на каждом этапе создания ЛА объективную оценку соответствия НЛГ. Это дает возможность повысить безопасность полетов, существенно сократить и в ряде случаев исключить сложные доводочные работы, необходимость которых ранее обнаруживалась в основном в процессе летных испытаний.

Наиболее значимыми в рамках нормативного технического обеспечения проектирования, производства и эксплуатации дирижаблей являются документы, предназначенные для утверждения их НЛГ, основными из которых являются следующие:

1. Критерии летной годности для дирижаблей (FAA P-8110-2 «Airship Desing Criteria», США, 1992) [9]. Данные критерии предписывают требования достаточной ЛГ применительно к нежестким, близким к статически равновесным, обычным дирижаблям объемом не свыше 40 000 м3 для выдачи сертификатов типа и изменений к этим сертификатам. Эти критерии пригодны для дирижаблей, сертифицируемых в рамках нормальной категории в пассажирском варианте при количестве мест не более 9, не считая кресел пилотов.

2. Нормы летной годности для воздушных судов в рамках пассажирской категории («Lufttuchtigkeitsforderungen fur Luftschiffe der Kategorien Normal und Zubringer», LFLS, Германия, 1999) [5]. Данные НЛГ предписывают требования достаточной ЛГ применительно к обычным, близким к статически равновесным дирижаблям в рамках пассажирской категории (т.е. имеющим количество мест не более 19, не считая кресел пилотов), с герметичной оболочкой, наполненной подъемным газом, для выдачи сертификатов типа и изменений к этим сертификатам.

3. Критерии летной годности для транспортных дирижаблей (далее – TAR) («Transport Airship Requirements», Германия – Голландия, 2000) [5–7]. Данные критерии предписывают требования достаточной ЛГ применительно к обычным, близким к статически равновесным дирижаблям для выдачи сертификатов типа и поправок к этим сертификатам, применимых для дирижаблей, сертифицированных в рамках транспортной категории. В транспортную категорию входят многодвигательные, приводимые в движение воздушным винтом дирижабли, вмещающие 20 и более пассажиров (исключая экипаж), или имеющие максимальную взлетную массу 15 000 кг и более, или расчетный объем подъемного газа 20 000 м³ и более, в зависимости от того, что больше. TAR не имеют ограничений ни по объему оболочки, ни по типам дирижаблей (нежесткий, полужесткий, жесткий), ни по пассажировместимости.

Все вышеназванные документы состоят из одинаковых разделов, построенных по тематическому признаку, и приложений:

раздел I (A) – Общие положения;

раздел II (B) – Полет;

раздел III (C) – Прочность;

раздел IV (D) – Проектирование и конструкция;

раздел V (E) – Силовая установка;

раздел VI (F) – Оборудование;

раздел VII (G) – Эксплуатационные ограничения и информация.

TAR имеют два дополнительных раздела: Раздел J – Вспомогательная газотурбинная силовая установка. Часть A – Все вспомогательные силовые установки (далее – ВСУ); Раздел K – Газотурбинная ВСУ. Часть B – Основные ВСУ.

Приложения.

Раздел I (A) устанавливает назначение и применимость, а также общие принципы сертификации дирижаблей.

Раздел II (B) в части «Общие положения» нормирует допустимые ограничения по массе, распределению нагрузки, центру тяжести, размещению балласта. Требования к летным характеристикам включают комплекс показателей, определяющих допустимые параметры взлета, набора высоты со всеми работающими двигателями (неработающим критическим двигателем), траектории полета, посадки, погрузки/разгрузки грузов и балласта во время полета, зависания или на земле без причаливания к мачте. Требования к динамическим свойствам дирижаблей на каждом из этапов полета рассматриваются в подразделах «Управляемость и маневренность», «Балансировка», «Устойчивость».

Раздел III (C) содержит требования к статической и усталостной прочности конструкции, устанавливает максимально допустимые в эксплуатации условия нагружения, обусловливающие наиболее неблагоприятные в отношении прочности воздействия нагрузок на ЛА или его отдельные части. Эти условия нагружения охватывают все режимы полета и движение по земле. Разработаны случаи нагружения при воздействии атмосферной турбулентности. Приведены расчетные условия динамического нагружения конструкции при полете в неспокойном воздухе и при посадке (включая режимы аварийной посадки).

Требования к конструкции дирижаблей (раздел IV(D)) распространяются на системы управления, шасси, пассажирскую кабину и багажно-грузовые помещения, аварийно-спасательные средства, противопожарную систему, системы защиты летательного аппарата от удара молний и обледенения и т. п. Нормы, установленные для аварийно-спасательного оборудования, позволяют принять все практические меры для сведения к минимуму возможности травм пассажиров и экипажа при вынужденных посадках на сушу и воду и обеспечить их эвакуацию. Требования к противообледенительной системе и молниезащите дирижабля направлены на обеспечение ЛГ в самых сложных и опасных метеоусловиях.

В подразделе «Специфические особенности дирижаблей» (для TAR) изложены требования к подъемному газу, газовоздушной и балластной системам, газовым мешкам, оболочке нежестких и полужестких дирижаблей, внешней оболочке жестких дирижаблей. Указано на необходимость исследования и минимизирования опасности возникновения пожара в газовых мешках и оболочке, на необходимость доказательства, что наполненная газом оболочка или газовые мешки обладают самозатухающими качествами или их материал имеет самозатухающие свойства.

Раздел V (E) устанавливает требования к силовой установке и его системам: топливной, масляной, системе охлаждения, подачи воздуха, системе выхлопа. Также регламентированы требования к органам управления и агрегатам СУ, противопожарной защите СУ. Двигатели (поршневые и газотурбинные) и воздушные винты должны иметь сертификат типа либо быть сертифицированными как составные части дирижабля.

В разделе VI (F) устанавливаются требования к пилотажно-навигационному, радиотехническому, электротехническому и светотехническому оборудованию дирижабля, выполнение которых является обязательным для обеспечения безопасности полета; определяется состав приборов и средств управления, обязательно устанавливаемых на летательном аппарате; задаются требования к их функциям и характеристикам. Важную роль играют требования к автономным средствам определения скорости, высоты, курса, отклонения от вертикали, координат дирижабля и к системам автоматического управления. Требования к радиотехническому оборудованию навигации и связи особенно важны из-за необходимости обеспечения безопасности полета в сложных метеоусловиях и при полетах на большие расстояния. Взаимодействие систем автоматического управления и радиотехнического оборудования позволяет автоматизировать процессы управления и дирижаблевождения, что играет первостепенную роль в обеспечении безопасного полета в широком диапазоне условий эксплуатации. В критериях и НЛГ дирижаблей содержатся обязательные требования к выбору мощности систем генерирования и степени резервирования источников электроэнергии, качеству электроэнергии на различных режимах работы. Предусмотрены также требования к компоновке кабины экипажа и рабочих мест, за основу которых приняты эргономические закономерности, позволяющие максимально повысить эффективность действий экипажа.

Раздел VII (G) предписывает установить все эксплуатационные ограничения и другие ограничения и информацию, необходимые для безопасной эксплуатации дирижабля. Прежде всего, это ограничения по скорости полета и скорости ветра в приземном слое, массе/статической подъемной силе, силовой установке (включая управление вектором тяги двигателей или воздушных винтов), составу летного экипажа, по системам и оборудованию, давлению в оболочке и баллонетах, типам покрытия посадочных площадок и т.д. На борту воздушного судна должно быть не только «Руководство по летной эксплуатации» (как и для всех ЛА тяжелее воздуха), но и «Руководство по наземной эксплуатации» (для наземных операций) дирижабля.

Разделы J и K (только для TAR) содержат требования к вспомогательным газотурбинным двигателям как источ-

никам электроэнергии и сжатого воздуха, необходимые для сертификации «до установки на дирижабль» и в компоновке дирижабля.

Приложение содержит методику испытания на прочность ткани оболочки нежестких и полужестких дирижаблей. Для TAR также приведены определения и обозначения, даны справочные материалы по расчетным условиям и режимам.

Однако при этом следует иметь в виду, что данные документы ориентированы на требования широкого характера и не охватывают всего комплекса требований, предъявляемых к отдельным подсистемам, узлам и агрегатам дирижабля. Следует также отметить, что ряд других документов в области нормативного технического обеспечения по другим направлениям в российской практике не нашли широкого применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время в экономически развитых странах Запада уделяется большое внимание исследованиям в области нормативного технического обеспечения проектирования, производства и эксплуатации дирижаблей. В результате реализации значительного объема мероприятий по основным направлениям исследований (использование стандартов для сертификации воздушных судов, их оборудования и комплектующих; утверждение норм летной годности; закрепление единообразной методики проведения расчетов аэростатов и дирижаблей; ускоренное развитие беспилотных авиационных систем; сокращение расходов на проектирование, производство и эксплуатацию аэростатов и дирижаблей) в этих странах разработан и получил широкое применение комплекс нормативных технических документов, позволяющий обеспечить широкое применение аэростатов и дирижаблей.

2. Особое место с точки зрения проектирования, производства и эксплуатации дирижаблей как сложных технических систем среди данных направлений в зарубежных странах занимает утверждение НЛГ. Международные НЛГ регламентируются требованиями ИКАО и включают требования ЛГ широкого плана, служащие обязательной международной основой для разработки национальных НЛГ, которые обязано иметь каждое государство – член ИКАО. Страны – члены ИКАО либо имеют свои национальные НЛГ, либо распространяют на свою гражданскую авиатехнику, в т. ч. и воздухоплавательную, действие НЛГ одной из передовых авиационных держав.

3. В 1990-е годы Россия как член ИКАО гармонизировала свои НЛГ с американскими и европейскими нормами, для российских НЛГ, которые стали называться Авиационными правилами, был установлен уровень ЛГ, аналогичный уровню ЛГ, предусмотренному FAR и JAR.

4. Основными документами, регламентирующими Нормы летной годности в экономически развитых странах, являются:

– Критерии летной годности для дирижаблей (FAA P-8110-2 «Airship Desing Criteria», США, 1992);

– Нормы летной годности для воздушных судов в рамках пассажирской категории («Lufttuchtigkeitsforderungen fur Luftschiffe der Kategorien Normal und Zubringer», LFLS, Германия, 1999);

– Критерии летной годности для транспортных дирижаблей («Transport Airship Requirements», Германия – Голландия, 2000).

В указанных документах применительно к соответствующей категории дирижаблей (нормальной, пассажирской, транспортной) содержится широкий круг требований к пилотажным характеристикам дирижаблей, их управляемости, маневренности, устойчивости, прочности, силовой установке, оборудованию, эксплуатационным ограничениям и информации, а также особенностям проектирования и конструкции.

Однако указанные документы ориентированы на требования широкого характера и не охватывают всего комплекса требований, предъявляемых к отдельным подсистемам, узлам и агрегатам дирижабля. Кроме того, ряд документов в области нормативного технического обеспечения, применяемых в западных странах по другим направлениям, не нашли широкого применения в российской практике.

5. В связи с изложенным можно сделать интегральный вывод о том, что Нормы летной годности могут служить методической основой нормативного технического обеспечения проектирования, производства и эксплуатации российских дирижаблей как сложных технических систем. Образно говоря, НЛГ являются своего рода «аналогами технических регламентов» при производстве воздухоплавательной техники. Однако они должны быть дополнены системой стандартов, конкретизирующих эти требования применительно к составным частям и элементам дирижабля.

Список литературы

1. Авиация. Энциклопедия. – М.: Большая российская энциклопедия, ЦАГИ, 1994. – 736 с.: ил.
2. Арие М.Я., Полянкер А.Г. Дирижабль нового поколения. – К.: Наукова Думка, 1983. – 175 с.: ил.
3. Егер С.М. Проектирование самолетов: учебник / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев. 4-е изд., стереотип. – М.: Машиностроение, 2005. – 624 с.: ил.

References

1. Aviation. Encyclopedia. Moscow: Great Russian Encyclopedia, TsAGI, 1994. 736 pp.: ill.
2. Arie, M.Y., Polyanker, A.G. The New Generation Airship. Kyiv: Naukova Dumka. 1983. 175 pp.: ill.
3. Eger, S.M. Aircraft Design: Textbook / S.M. Eger, V.F. Mishin, N.K. Liseytsov. 4th ed., stereotype. Moscow: Mashinostroenie, 2005. 624 pp.: ill.

4. Егер С.М. Основы автоматизированного проектирования самолетов / С.М. Егер, Н.К. Лисейцев, О.С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.: ил.
5. Компоновка самолетов / под ред. М. Ю. Куприкова. – М.: Изд-во МАИ, 2012. – 294 с.
6. Кирилин А.Н. Дирижабли. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2013. – 416 с.: ил.
7. Кирилин А.Н. Малоразмерные дирижабли. Конструкция и эксплуатация: учеб. пос. – М.: Изд-во МАИ, 2003. – 116 с.
8. Кирилин А.Н. Многоцелевые дирижабли фирмы «Аэростатика». Проект «Ноосферные транспортные системы Сибири и Дальнего Востока». – Новосибирск: Российская Академия естественных наук, 2005. – С. 541–554.
9. Критерии летной годности для дирижаблей. Утверждены Авиационным регистром Межгосударственного авиационного комитета 9 ноября 1996 г. – М.: Российское Воздухоплавательное Общество, 1999. – 120 с.: ил.

4. Eger, S.M. Fundamentals of Computer-Aided Aircraft Design / S.M. Eger, N.K. Liseytsov, O.S. Samoilovich. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 232 pp.: ill.
5. Aircraft Layout / Edited by M.Yu. Kuprikov. Moscow: MAI Publishing House, 2012. 294 pp.
6. Kirilin, A.N. Airships. Moscow: MAI-PRINT Publishing House, 2013. 416 pp.: ill.
7. Kirilin, A.N. Small Airships. Design and Operation: Textbook. Moscow: MAI Publishing House, 2003. 116 pp.
8. Kirilin, A.N. Multipurpose airships manufactured by Aerostatika. Project: «Noospheric Transport Systems of Siberia and the Far East». Novosibirsk: Russian Academy of Natural Sciences, 2005. pp. 541–554.
9. Airworthiness Criteria for Airships. Approved by the Aviation Register of the Interstate Aviation Committee on November 9, 1996. Moscow: Russian Aeronautical Society, 1999. 120 pp.: ill.

УДК 004.4 + 004.8:655.4/.5

МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СЕТЕВОГО НАУЧНОГО ИЗДАНИЯ

MULTI-AGENT SYSTEM FOR OPTIMIZING INFORMATION PROCESSES IN A NETWORKED SCIENTIFIC PUBLICATION

Бурый А.С., д-р техн. наук, ФГБУ «Институт стандартизации» (Москва, Россия)

Костылева К.В., аспирант, ФГБУ «Институт стандартизации» (Москва, Россия)

Buryi A.S., Dr.Sc. (Technology), Russian Standardization Institute (Moscow, Russia)

Kostyleva K.V., graduate student, Russian Standardization Institute (Moscow, Russia)

Цель работы: повышение статуса сетевого научного издания (СНИ), продвижение СНИ по престижным наукометрическим характеристикам для повышения авторитета научного издания, а также сокращения временных показателей, связанных с типовым сценарием рассмотрения научных публикаций.

Методы: комплексное использование системного и сравнительного анализа, формально-логическая разработка и обоснование структур построения сетевых платформ, многоагентное моделирование.

Результаты: обоснование и пример математической формализации задачи формирования структуры информационной системы сетевого научного издания, как дальнейшее развитие сетевой среды совместной разработки наукоемких проектов; на основе диаграммы последовательностей получена структура взаимодействия агентов СНИ для обоснования направлений по автоматизации процессов предварительного рассмотрения поступающих в издательство материалов и подготовки их к опубликованию.

Полученный подход может быть использован для проектирования перспективных цифровых приложений.

Ключевые слова: сетевые технологии, издательские системы, научная коммуникация, открытый доступ, семантическое сходство.

Для цитирования: Бурый А.С., Костылева К.В. Многоагентная система оптимизации информационных процессов сетевого научного издания // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4 (91). С. 15–20.

Purpose of the paper: is to enhance the status of a web-based scientific publication (WSP), to promote WSP in terms of prestigious scientometric indicators in order to increase the authority of the scientific publication, as well as to reduce the time indicators associated with the typical scenario for reviewing scientific publications.

Methods used: comprehensive use of system and comparative analysis, formal-logical development and justification of the structures for building web platforms, multi-agent modeling.

Results obtained: justification and an example of mathematical formalization of the task of forming the structure of an information system for a networked scientific publication, as a further development of the network environment for collaborative development of knowledge-intensive projects; based on the sequence diagram, a structure of interaction between agents of the WSP was obtained to substantiate the directions for automating the processes of preliminary review of materials received by the publishing house and their preparation for publication.

The obtained approach can be used to design promising digital applications.

Keywords: network technologies, publishing systems, scientific communication, open access, semantic similarity.

For citation: Buryi A.S., Kostyleva K.V. Multi-agent system for optimizing information processes in a networked scientific publication. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2026, no. 4(91), pp. 15–20. (In Russ.).

«…в мире не происходит ничего, в чем не был бы виден смысл какого-нибудь максимума или минимума…»

Л. Эйлер [1]

ВВЕДЕНИЕ

Сетевое коммуникативное пространство становится активно развивающимся феноменом, которому присущ высокий уровень динамичности, что приводит к возникновению нового типа взаимоотношений между участниками, которые базируются на множественности контекстов взаимодействия. Причина данного явления заключается в необходимости передачи информации и значимости выстраивания новых связей и отношений [2].

Технология (или способ реализации) связанных данных определяет концепцию семантической паутины или паутины данных, как ее определил Тим Бернерс-Ли: «Сеть вещей в мире, описанных с помощью данных в интернете» [3], где подчеркиваются сходства и различия между семантической паутиной и традиционной паутиной, или паутиной веб-документов. Анализ связанных данных проводится в библиотеках, архивах, музеях, которые традиционно придерживаются высоких стандартов структурирования и обмена данными.

Проведение современных научных исследований опирается на интенсивное использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и составляет суть понятия *электронная наука* (е-наука), заключающееся в применении распределённых вычислительных сред, облачных и сетевых технологий для решения сложных задач. Эта инфраструктура позволяет учёным работать с огромными массивами данных, моделировать сложные процессы, визуализировать результаты и сотрудничать на расстоянии [4]. Электронная наука ориентирована на проведение современных научных исследований, включая подготовку и проведение экспериментов, сбор данных, распространение результатов, а также их хранение и доступ ко всем полученным материалам.

Электронная наука базируется на понятии *открытых данных*, которые во многом ускоряют процесс исследования, облегчая повторное использование и обогащение наборов данных [5]. Вопрос «открытости» науки все больше теряет актуальность в условиях тенденций к глобализации научной сферы и активного развития ИКТ в целом.

Развитие сетевых технологий находит свое приложение во многих сферах деятельности: наука, образование, производство и ряд других. Среда совместной разработки (ССР) рассматривается как перспективное направление технологии управления знаниями в научных исследованиях [6]. Когнитивность подобных сетевых структур основывается на концепции *когнитивного цикла*: наблюдения – оценка состояния – принятие решения – действие [7], связанных сквозной целью. Когнитивный цикл активно используется, в частности, в системах моделирования динамики сложных систем на основе агентов, на базе BDI-архитектуры, в логике которой заложены три интенциональных состояния агентов: убеждения – Beliefs, желания – Desires, намерения – Intentions [8]. С их помощью строится поведение агента по выбору действий, базируясь на знаниях о внешнем мире (окружающей среде), воспроизводя в некотором приближении уровень человеческого мышления.

Идея когнитивной сети сводится к поддержке способности воспринимать текущие сетевые условия, а затем планировать, обучаться и рекомендовать возможные действия в сложившихся условиях в соответствии с конечными целями. Развитие когнитивных сетей [7] обусловлено сложностью, неоднородностью и надежностью сетей будущего, которые, как ожидается, будут все чаще самоорганизовываться для достижения целей, заявленных применяемыми веб-приложениями.

Однако взаимодействие со многими технологиями на междисциплинарном уровне, свойственное большинству проектных команд, требует развития методологической платформы, обеспечивающей многокритериальное системное представление для формализации решаемых задач на модельном уровне. Такую роль выполняет ИКС-подход (информационно-кибернетический синергетический) при исследовании организационных и функциональных структур сложных организационно-технических систем [9].

В условиях многообразия сетевых технологий, информационных объектов, включая и сами программные продукты, и результаты вычислительных и регистрационных процессов, проводимых на их основе, становится актуальным развитие сетевой ССР [6]. Это совершенствующийся тип программных платформ, поддерживающих технологии распределенной разработки изделий и продуктов, предоставляя общее рабочее онлайн-пространство для участников сетевой ССР. Данная среда позволяет участникам проекта взаимодействовать в режиме реального времени или асинхронно, упрощая коммуникацию, ведение документации и координацию работ.

В качестве примера ССР можно рассматривать деятельность сетевых научных изданий (СНИ), когда формат научной статьи полностью адаптирован для последующей компьютерной обработки, распространения и хранения информации, а структура коммуникаций обеспечивает необходимую динамику рассмотрения и опубликования работ [10]. Такой подход позволит обеспечить необходимую навигацию в системах цитирования, выступающих инструментом оценивания научных исследований, в том числе и путем разработки моделей цитирования, за счет определения взаимодействия научных направлений и выявления новых векторов перспективных исследований [11].

Предметом настоящего исследования являются модели и методы оптимизации процессов издательской деятельности. Целью исследования является повышение статуса СНИ, продвижение СНИ по престижным наукометрическим характеристикам для повышения авторитета научного издания, а также сокращения временных показателей, связанных с типовым сценарием рассмотрения научных публикаций.

Количество публикаций российских ученых, регистрируемых в зарубежных базах Scopus и Web of Science, в последние годы постоянно растет. Однако по индексам цитируемости, характеризующим вклад российских исследователей в мировую науку, мы очень сильно отстаем от среднемировых показателей. В том числе это происходит из-за плохого владения академическим письмом, неумения четко и ясно представить результаты своей работы.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

С развитием сетевых технологий скорость генерации научного знания постоянно возрастет, а традиционная система научной печати уже не успевает за темпом исследований. Существующие методы контроля качества и рецензирования вызывают серьезные задержки выхода статей, а структура и разметка самих публикаций часто не соответствует жестким требованиям, принятым в мировой практике. Дополнительные требования ВАК РФ и Минобрнауки к категориям научных журналов (К1, К2, К3) и «Белому списку» требуют автоматизации и исключения человеческого фактора на этапах первичного отбора и маршрутизации поступающих публикаций в информационной среде СНИ.

Представим решаемую задачу в виде задачи многокритериальной оптимизации в многоагентной системе (МАС).

На вход издательского цикла с любой периодичностью поступают статьи авторов, составляющих множество $D = \{D_1, D_2, \dots, D_j, \dots, D_n\}$. Множество агентов системы $\mathcal{A}$ включает следующие подмножества (роли) агентов:

агентов-авторов – $AA = \{a\}$;

агентов тематического раздела (рецензент) – $ATR = \{tr\}$;

агент семантической фильтрации – $ASF = \{sf\}$;

агент-редакции – $AR = \{ar\}$, т.е.

$$\mathcal{A} = \{AA, ATR, ASF, AR\}. \quad (1)$$

Причем для отдельных публикаций (обзоры, междисциплинарная исследования) могут назначаться несколько агентов из ATR и AR. Мощности указанных подмножеств из $\mathcal{A}$ являются достаточными для организации процесса обслуживания поступающих публикаций.

Пусть T – полный цикл обработки статьи от момента поступления t_0 до момента опубликования $t_{\text{пуб}}$ есть $T = t_{\text{пуб}} - t_0$. Тогда, в общем виде, для каждой публикации D_j требуется обеспечить минимальные сроки ее обработки и подготовки к изданию:

$$T_j = \left\{ (t^j_{\text{пуб}} - t^j_0) \to min \mid \text{при } St(s, l, r) \geq St_{min} \right\}, \quad (2)$$

где St_{min} – минимальные требования по качеству: структуре статьи – s (информация об авторах, наличие УДК, аннотации, ключевых слов, списка литературы и др.); l – корректность списка источников; r^i_m – оценка (уровня m) от i-го рецензента; j – номер публикации (в выпуске).

Ограничения

а) на загрузку рецензента:

$$\sum_{j \in J} r_{ij} \leq L_i^{max}, \forall r_{ij} \in R, \quad (3)$$

где $r_{ij} \in \{0,1\}$ – бинарная переменная назначения i-му рецензенту статьи j; L_i^{max} – максимальная допустимая нагрузка на рецензента;

б) на содержательность публикации и метаданные:

$$Sim(D_j, R_k) < \alpha_{min}, \quad (4)$$

где $Sim(\cdot)$ – коэффициент семантической близости (СБ) для публикации D_j относительно тематики издания или конкретного раздела журнала – R_k, а α_{min} – заданный уровень СБ.

ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ

Определение семантической близости публикаций научному направлению издания в данной работе обеспечивается агентом семантической фильтрации (ASF). Данный агент включается в работу до того, как к процессу подключатся люди. Если уровень СБ соответствует выражению (4), т.е. меньше допустимого, агент ASF отправляет AA автоматический аргументированный отказ («Не соответствует профилю журнала»), что экономит время редакторов и рецензентов.

Предварительно научная статья D_j делится на несколько логических зон (Z), например, зона 1 (Z1) – заголовок статьи, Z2 – аннотация и ключевые слова, Z3 – основной текст (содержание). Каждой зоне присваивается свой коэффициент важности α_z, причем $\sum_{z=1}^{Z} \alpha_z = 1$.

Расчет СБ будем проводить на основе косинусного сходства на основе векторной модели (TF-IDF[1]) [12]. Исходными данными выступают: вектор статьи, формируемый на основе выделенных логических зон:

$$\vec{V}(D_j) = \sum_{z=1}^{Z} \alpha_z \cdot \vec{V}^z_{D_j}, \quad (5)$$

а также вектор профиля издания (или его раздела, специальности ВАК), формируемый на основе терминологической базы (словаря терминов для выбранного раздела):

$$\vec{V}(R_k) = \|\text{ИП, МАС, Опт, БД}\|, \quad (6)$$

где элементами вектора $\vec{V}(R_k)$, для примера, выбраны: информационный процесс (ИП), многоагентная система (МАС), оптимизация (Опт), база данных (БД). Пусть для раздела «Информационные процессы и системы» $\vec{V}(R_k) = \|0{,}4;\ 0{,}2;\ 0{,}1;\ 0{,}2\|$.

Коэффициент семантической близости определим, как косинусную меру [12]:

$$Sim(D_j, R_k) = cos(\vec{V}(D_j), \vec{V}(R_k)) = \vec{V}(D_j) \cdot \vec{V}(R_k) / (\|\vec{V}(D_j)\| \, \|\vec{V}(R_k)\|). \quad (7)$$

Установим веса логических зон для статьи: зона 1 (Заголовок статьи + ключевые слова) – $\alpha_1 = 0{,}2$; зона 2 (Аннотация + текст статьи) – $\alpha_2 = 0{,}8$.

Значения TF-IDF для примера для выбранных двух зон статьи D_j:

для Z1: $\vec{V}^{(1)}_{D_j} = \|0{,}6;\ 0{,}2;\ 0{,}0;\ 0{,}5\|$;

для Z2: $\vec{V}^{(2)}_{D_j} = \|0{,}3;\ 0{,}1;\ 0{,}1;\ 0{,}2\|$.

[1] TF-IDF – частота термина – обратная частота документа.

Итоговый вектор статьи рассчитывается путем взвешенного суммирования векторов её логических зон (Z1 и Z2) с учетом весов логических зон:

$$\vec{V}(D_j) = \alpha_1 : \vec{V}_{D_j}^{(1)} + \alpha_2 : \vec{V}_{D_j}^{(2)}$$
$$= 0{,}2 \cdot (0{,}6;\ 0{,}2;\ 0{,}0;\ 0{,}5) + 0{,}8 \cdot (0{,}3;\ 0{,}1;\ 0{,}1;\ 0{,}2) =$$
$$= \|0{,}36;\ 0{,}12;\ 0{,}08;\ 0{,}26\|.$$

Вычисляя соответственно скалярное и векторное произведения в выражении (7), получим итоговое выражение для коэффициента СБ: $Sim(D_j, R_k) \approx 0{,}97$, что подтверждает высокую степень соответствия содержания статьи тематике рубрики СНИ.

ДИАГРАММА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ НА UML

При проектировании многоагентных систем, диаграмма последовательности (UML Sequence Diagram) является главным и наиболее информативным инструментом [13, 14]. Для описания МАС UML-диаграммы не только представляют структуру исследуемой системы, но и отражают динамику информационных процессов – то, как агенты взаимодействуют между собой (передают сообщения) во времени.

Уточним роли и задачи агентов – участников издательского процесса в соответствии с указанными номерами операций, представленными на UML-диаграмме:

1. Агент автора (AA) – загружает рукопись на сайте СНИ.

2. Агент редакции (AR) – принимает входящий запрос и координирует дальнейшие действия участников издательского процесса.

3. Агент семантической фильтрации (ASF) – проверяет коэффициент СБ статьи и тематического тезауруса СНИ (см выражения (5)–(7)).

4. Реализация сценария A (*Отказ*): если сходство ниже порога, ASF возвращает через AR «Отказ автору». Процесс завершен без привлечения людей.

5. Реализация сценарий B (*Успех*): Если СБ в норме, статья направляется ATR.

6. Агент тематического раздела – получает профиль поступившей статьи и подбирает рецензентов.

7. Агенты-рецензенты – ARC выбраны (получены их согласия).

8. Агенты-рецензенты ARC – проводят рецензирование полученной статьи.

AR характеризуется наибольшим функционалом в МАС-издательства:

1. Контроль поступления заявок (статей) от AA и их первичной обработки ASF: как только поступает заявка от AA, Агент семантической фильтрации мгновенно забирает файл на первичный анализ.

2. Контроль результатов проверки ASF отправки аргументированного отказа о «не соответствии материала профилю СНИ).

3. Маршрутизация: если проверка пройдена, он передает статью агенту ATR, а также формирует «облако тегов» статьи для агента ARC, чтобы система могла подобрать рецензентов с точным профилем компетенций.

В качестве базового протокола обмена сообщениями между агентами используется подмножество стандартов FIPA[2].

[2] Сообщество разработчиков по стандартизации агентных технологий FIPA (The Foundation for Intelligent Physical Agents). – URL: Foundation for Intelligent Physical Agents – Specifications [Internet] Available from: http:// www.fipa.org/specs/fipa00023/SC00023J.html (дата обращения: 05.08.2026).

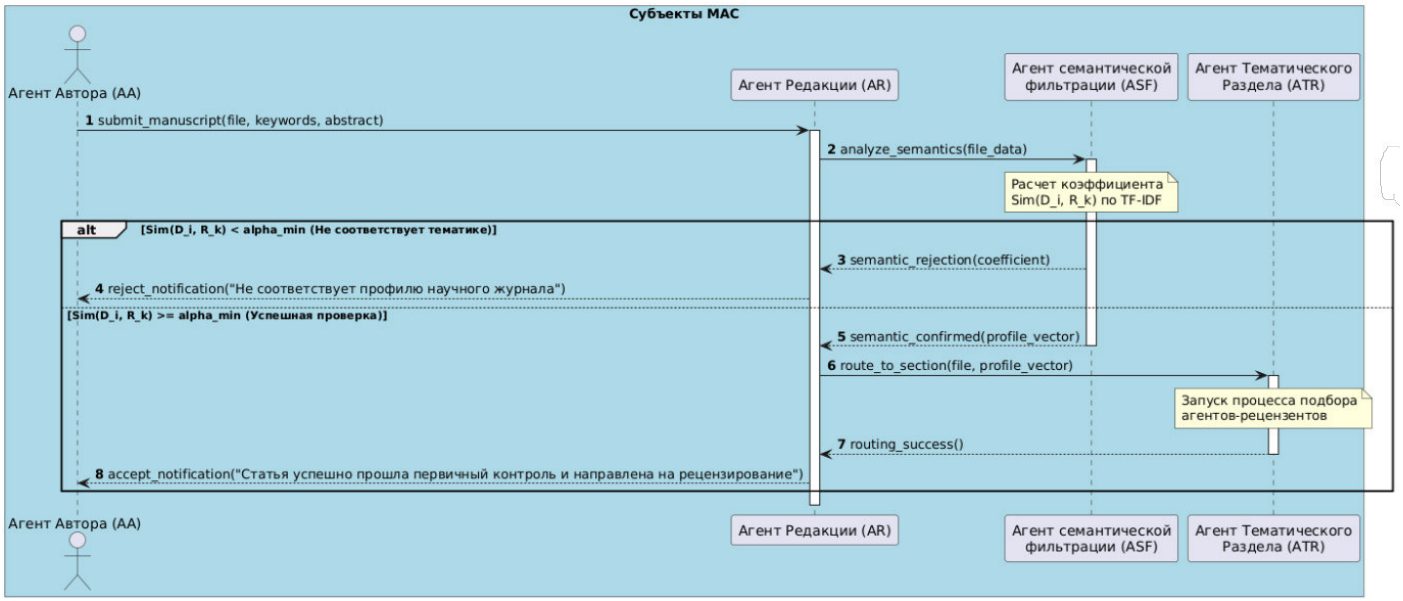


Рис. Диаграмма последовательностей взаимодействия агентов в информационной среде СНИ

Предложенная схема взаимодействия реализует принцип «ранней фильтрации», при котором агент ASF изолирует агента ATR от заведомо непрофильных информационных потоков, оптимизируя общую временную структуру издательского цикла.

В качестве используемых классов объектов (для представленной диаграммы последовательностей) отметим класс Manuscript (Статья), который отвечает за набор требуемых данных о представленной статье (udcCode: универсальная десятичная классификация; metadataVector: цифровой профиль статьи (массив чисел, полученный после обработки ключевых слов, аннотации; getZonedText(zone) – метод, возвращающий текст конкретной зоны (только заголовок, только аннотацию) для назначения весов при расчете СБ).

Класс SemanticFilterAgent (ASF) – это агент, выполняющий рутинную экспертную работу на этапе 2, устанавливающий жесткий порог на коэффициент СБ (например, 0,75), когда статья автоматически отклоняется, если итоговая СБ ниже.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание портала научного журнала как ССР радикально меняет традиционный издательский процесс, превращая его в непрерывный цикл генерации, обсуждения и верификации знаний. По сути это переход от статического архива к динамической экосистеме.

Представленный авторами подход объединяет формализацию процесса проектирования сетевых порталов с практической реализацией итоговой модели представления основных типов операций, свойственных в нынешнем понимании этапов прохождения поступивших в издательство рукописей. Предложенный подход может быть положен в основу системы поддержки принятия решений при разработке информационных систем на основе многоагентного моделирования при разработке веб-сервисов.

Возможность автоматизированной обработки будущих публикаций с одной стороны, позволяет учитывать ряд существующих стандартных требований, а с другой стороны, позволяет быстро перенастраивать издательскую систему, например, в случаях необходимости загрузки выпусков журнала в новые информационные базы, что способствует переходу СНИ в более высокие категории, актуальные при публикации материалов исследований докторского уровня. Все это позволяет больше сосредоточиться на обеспечение научной ценности текстов, оптимизируя и улучшая и содержание представляемого научного продукта, и процесс его подготовки в издательстве. Еще раз хочется процитировать, вслед за [1], высказывание Леонарда Эйлера о том, что «в мире не происходит ничего, в чем не был бы виден смысл какого-нибудь максимума или минимума», особенно для технических наук, а применительно к области информатики процесс оптимизации не менее актуален.

Список литературы

1. Оптимизация динамики управляемых систем / Александров В.В., Болтянский В.Г., Лемак С.С. [и др.]; ред. Александров В.В. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 302 с.
2. Баньковская Ю. Л. Сущность и специфика социокоммуникативного взаимодействия субъектов в условиях развития сетевых структур // Журнал Белорусского государственного университета. Социология. 2019. № 4. С. 75–79. – EDN FJQDXM.
3. Guerrini M., Possemato T. Linked data: a new alphabet for the semantic web // JLIS. it. 2013. Т. 4. С. 67–90.
4. Лаврищева Е.М., Карпов Л.Е., Томилин А.Н. Подходы к представлению научных знаний в Интернет науке // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18–23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2017. – С. 310–326. – EDN ZUPFGN. doi:10.20948/abrau-2017-68
5. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Открытая наука как движущая сила информационного общества // Правовая информатика. 2024. № 3. С. 4–12. – https://doi.org/10.24682/1994-1404-2024-3-4-12. – EDN ILFZMU.
6. Бурый А.С., Костылева К.В. Анализ среды совместной разработки на основе когнитивных карт // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 3 (90). С. 94–101. – EDN: PAVKKV.

References

1. Optimizaciya dinamiki upravlyaemyh sis-tem / Aleksandrov V.V., Boltyanskij V.G., Lemak S.S. [i dr.]; red. Aleksandrov V.V. Moscow: Moscow University Press, 2000. – 302 p (In Russ.).
2. Bankouskaya Yu.L. The essence and specificity of subjects socio-communicative interaction in the context of network structures development. Journal of the Belarusian State University. Sociology, 2019, no. 4, pp. 75–79. (In Russ.).
3. Guerrini M., Possemato T. Linked data: a new alphabet for the semantic web. JLIS. it. 2013, vol. 4, pp. 67–90.
4. Lavrishcheva E.M., Karpov L.E., Tomilin A.N. Podhody k predstavleniyu nauchnyh znanij v Internet nauke. Nauchnyj servis v seti Internet: trudy XIX Vserossijskoj nauchnoj konferencii (18-23.09 2017 g., Novorossijsk). Moscow: IPM im. M.V. Keldysha, 2017, pp. 310–326. (In Russ.).
5. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Open science as a driver of information society. Legal informatics, 2024, no. 3, pp. 4–12. (In Russ.).
6. Buryi A.S., Kostyleva K.V. Analysis of the collaborative development environment based on cognitive maps. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2026, no. 3(90), pp. 94–101. (In Russ.).

7. Thomas R.W., DaSilva L.A., Mackenzie A.B. Cognitive networks // First IEEE International Symposium on New Frontiers in DySPAN. 2005, pp. 352–360.
8. Бурый А.С., Фролов В.А., Куляница А.Л. Эволюция агентного моделирования. Часть 1. Архитектура интеллектуального агента // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 5(74). С. 38–47. – EDN: OYGPNF.
9. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15–26. https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26. – EDN: LOYZTA.
10. Иваницкая Е.В. Научный журнал как основа профессиональной коммуникации: проблемы современного развития // Наука и научная информа-ция. 2020. Т. 3, № 1. С. 85–96. https://doi.org/10.24108/2658-3143-2020-3-1-85-96. – EDN: OCTRRL.
11. Бурый А.С., Балванович А.В. Организационные аспекты технологий цитирования научных публикаций // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 1 (53). С. 77–85. – EDN: EEOPNN.
12. Malkawi R., Daradkeh M., El-Hassan A., Petrov P.A semantic similarity-based identification method for implicit citation functions and sentiments information // Information. 2022, 13(11), 546. https://doi.org/10.3390/info13110546
13. Бойцов А.К., Колмогорова С.С. Практическое моделирование на UML. – СПб. : ООО «Реноме», 2023. – 684 с. https://doi.org/10.25990/spbgltu. t25h-9q02. – EDN: EBDWYW.
14. Разработка прототипа многоагентной системы сетевого взаимодействия учебных заведений / Ю.Ф. Тельнов, А.В. Данилов, Р.И. Дивеев [и др.] // Открытое образование. 2018. Т. 22, № 6. – С. 14–26. – https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-6-14-26. – EDN: YTQIXZ.

7. Thomas R.W., DaSilva L.A., Mackenzie A.B. Cognitive networks. First IEEE International Symposium on New Frontiers in DySPAN, 2005, pp. 352–360.
8. Buryi A.S., Frolov V.A., Kulyanitsa A.L. The evolution of agentbased modeling. Part 1. Architecture of an intelligent agent. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2023, no. 5(74), pp. 38–47. (In Russ.).
9. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Information structures of the smart city based on cyber-physical systems. Legal informatics, 2022, no. 4, pp. 15–26. (In Russ.).
10. Ivanitskaya E.V. Scientific Journal as the Basis of Professional Communication: Problems of Modern Development. Scholarly Research and Information. 2020, no. 3(1), pp. 85–96. https://doi.org/10.24108/2658-3143-2020-3-1-85-96 (In Russ.).
11. Buryi A.S., Balvanovich A.V. Organizational aspects in technology citation of scientific publications. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation, 2020, no. 1(53), pp. 77–85. (In Russ.).
12. Malkawi R., Daradkeh M., El-Hassan A., Petrov P.A semantic similarity-based identification method for implicit citation functions and sentiments information. Information, 2022, no. 13(11), 546. https://doi.org/10.3390/info13110546.
13. Bojtsov A.K., Kolmogorova S.S. Prakticheskoe modelirovanie na UML. St. Petersburg: Renome Publ, 2023, 684 p. (In Russ.).
14. Telnov Yu.F., Danilov A.V., Diveev R.I., et al. Development of a prototype of multi-agent system of network interaction of educational institutions. Otkrytoe obrazovanie, 2018, vol. 22, no 6, pp. 14–26. (In Russ.).

УДК 004.85

МУЛЬТИМОДАЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТЕКСТНОГО ПОНИМАНИЯ СЦЕН

MULTIMODAL TRAINING OF COMPUTER VISION SYSTEMS FOR CONTEXTUAL SCENE UNDERSTANDING

Морозов В.П., д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО ВГТУ (Воронеж, Россия)

Марченко Н.В., студент, ФГБОУ ВО ВГТУ (Воронеж, Россия)

Капацын Д.В., студент, ФГБОУ ВО ВГТУ (Воронеж, Россия)

Morozov V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)

Marchenko N.V., student, Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)

Kapatsyn D. V., student, Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)

В статье рассматриваются особенности применения мультимодального обучения систем компьютерного зрения (СКЗ) в интересах контекстного понимания сцен. Целью исследования является анализ особенностей применения технологии мультимодального обучения в СКЗ для контекстного понимания сцен. Описаны такие методы мультимодального обучения, как представление модальностей, мультимодальное выравнивание, мультимодальное преобразование, совместное обучение и слияние данных. Представлены результаты экспериментов, подтверждающих более высокую эффективность функционирования СКЗ, в которой для контекстного понимания сцен использовано мультимодальное обучение, по сравнению с унимодальным обучением. Отражены проблемы и современные направления развития мультимодального обучения.

Ключевые слова: аудиовизуальные данные, контекстное понимание сцены, мультимодальное выравнивание, мультимодальное обучение, мультимодальное слияние, представление модальностей, система компьютерного зрения.

Для цитирования: Морозов В.П., Марченко Н.В., Капацын Д.В. Мультимодальное обучение систем компьютерного зрения для контекстного понимания сцен // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. №4 (91). С. 21–26.

The article discusses the features of the application of multimodal learning of computer vision systems (CVS) in the interests of contextual understanding of scenes. The purpose of the study is to analyze the features of using multimodal learning technology in the CVS for contextual understanding of scenes. Such methods of multimodal learning as representation of modalities, multimodal alignment, multimodal transformation, collaborative learning and data fusion are described. The results of experiments confirming the higher efficiency of the functioning of the CVS, in which multimodal learning is used for contextual understanding of scenes, compared with unimodal learning, are presented. The problems and current trends in the development of multimodal learning systems are reflected.

Keywords: audiovisual data, contextual scene understanding, multimodal alignment, multimodal learning, multimodal fusion, presentation of modalities, computer vision system.

For citation: Marchenko N.V., Kapatsyn D.V., Morozov V.P. Multimodal training of computer vision systems for contextual scene understanding. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026, 4(91): 21–26. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Основными способами восприятия внешнего мира для каждого человека являются визуальная и слуховая информация. Мозг анализирует информацию, поступающую из внешней асинхронной среды [1], интегрируя разнородные, так называемые, мультимодальные данные (ММД) для достижения определенных целей [2]. Аудиовизуальные способности людей имеют уникальные характеристики, позволяющие из разных сенсорных каналов восприятия объединять ММД об объектах и связях между ними в интересах интерпретации и формирования представлений о действительности, что составляет суть контекстного понимания сцен (КПС) [3, 4]. В одной ситуации (сцене), человек может услышать звук, определить его приблизительное место возникновения и сопоставить с существующим объектом, заранее не обладая визуальной информацией. В другой ситуации визуальные данные могут быть использованы для предсказания звуковых сигналов. Например, люди способны по движению губ собеседника определить произносимые слова, а по поведению животного – издаваемый им звук.

Эти особенности человека привели к попыткам ученых научить компьютер совершать аналогичные действия – обучить его КПС на основе анализа ММД [5]. Так появилась технология мультимодального обучения (ТММО), одним из важ-

ных направлений которой является мультимодальное обучение (ММО) систем компьютерного зрения (СКЗ) для КПС, выявляемых в ходе анализа видеопотока [6]. Обученные таким образом СКЗ позволяют преодолеть ограничения обработки информации, которые есть у людей. Они связаны с медлительностью подобной обработки и с малыми объемами обрабатываемой информации. Результаты предварительных исследований показали, что СКЗ, использующие ТММО, способны оперативно анализировать большие объемы ММД (например, одновременно обрабатывать видео, аудио и текстовую информацию в системах видеонаблюдения и голосовых ассистентах) [7].

В настоящее время ТММО находится на начальной стадии развития. Число публикаций по применению ТММО в СКЗ весьма ограничено. При этом известно, что сферы, где применяются СКЗ (автопилотный транспорт, медицина и др.), требуют получения высокоточных результатов. В таких областях цена ошибки при распознавании объекта или события бывает достаточно высокой. Эти обстоятельства обусловливают актуальность данной темы.

Цель статьи – раскрыть особенности применения ТММО в системах компьютерного зрения для контекстного понимания сцен.

1. МЕТОДЫ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Термин «мультимодальность», как концепция искусственного интеллекта, сформировался в рамках глубокого машинного обучения в 2010 году, а всплеск его бурного развития пришелся на период с 2021 по 2023 год. В эти годы зарубежными компаниями OpenAI, DeepMind и Microsoft Research были разработаны модели CLIP, Flamingo и Kosmos-1, способные анализировать визуально-языковые сцены на основе объединения различных типов данных, таких как текст, изображения, аудио и др. Эти модели могли создавать изображения исходя из их текстового описания, а также описывать в текстовом виде представленные изображения [6]. В интересах обучения искусственных нейронных сетей (ИНС), лежащих в основе этих моделей, впервые было использовано ММО, базирующееся на использовании при обучении ММД.

Применительно к СКЗ процесс ММО нетривиален и базируется на применении в ходе обучения ИНС нескольких методов обработки информации, таких как: представление модальностей данных, мультимодальное выравнивание данных, мультимодальное преобразование данных, совместное обучение и слияние данных. Данные методы обработки информации в совокупности с взаимной дополняемостью ММД обеспечивают более глубокое семантическое понимание сцен по сравнению с унимодальными методами обучения, основанными на одном типе данных.

Суть метода представления модальностей данных заключается в преобразовании (форматировании) данных, поступающих из различных каналов приема (текст, изображение, звук и др.) в формат, с которым работает (воспринимает) СКЗ [8]. Обработка текстовой информации осуществляется путем векторного представления семантически похожих слов. При этом в качестве обработчика используется система, построенная на предобученной модели типа «трансформер» [9].

На рис. 1 представлена архитектура системы, построенная на модели «Трансформер».

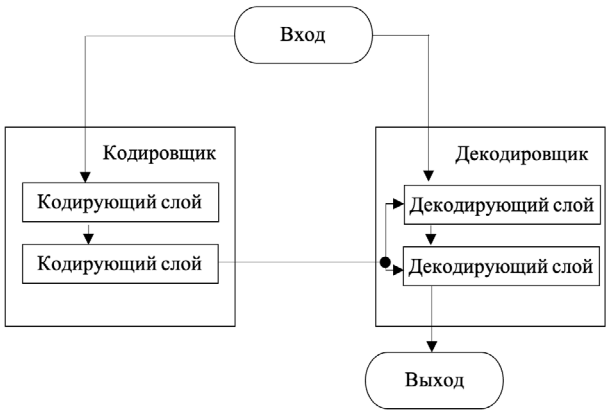


Рис. 1. Архитектура системы, построенная на модели «Трансформер»

Система состоит из двух основных частей: кодировщика и декодировщика.

При обработке текстовой информации кодировщик преобразует входные данные в векторы, формат которых понятен системе, а декодировщик на их основе собирает готовый ответ. Кодировщик и декодировщик работают параллельно, что обеспечивает высокую оперативность обработки информации, а предобученность модели обеспечивает адекватное понимание связи между словами.

Обработка видеоинформации в этой системе осуществляется следующим образом. Видеоданные представляются в виде совокупности пространственных и временных свойств изображения и обрабатываются сверточными нейронными сетями (СНС), а также рекуррентными нейронными сетями (РНС). При этом СНС извлекают пространственные признаки каждого видео, в то время как РНС извлекают информацию между кадрами, получая векторы признаков, представляющих содержимое видео [6]. С помощью сверточных и полносвязных слоев СНС извлекают все данные из изображения – от низкоуровневых признаков, таких как текстура и края, до высокоуровневых семантических признаков, таких как объекты и сцены. Сцена – это функциональное объединение визуальных образов и семантических описаний, где понимание происходящего достигается через интеграцию низкоуровневых признаков внешнего вида с высокоуровневыми представлениями об отношениях и связях между объектами [6]. Содержимое изображения описывается сформированным вектором признаков. Например, при классификации изображений вектор признаков способен

определить категорию изображения, обеспечивая наилучшую точность.

На рис. 2 представлена схема мультимодального совместного представления аудио- и видеоинформации.

На начальном этапе из общего потока аудио- и видеоданных осуществляется извлечение признаков соответствующими методами, изложенными выше. После чего формируется общий мультимодальный вектор, в котором сохраняются данные и устанавливаются связи для каждой модальности. Последующая обработка аудио- и видеоданных позволяет решить несколько задач, например распознать речь и провести анализ настроения человека.

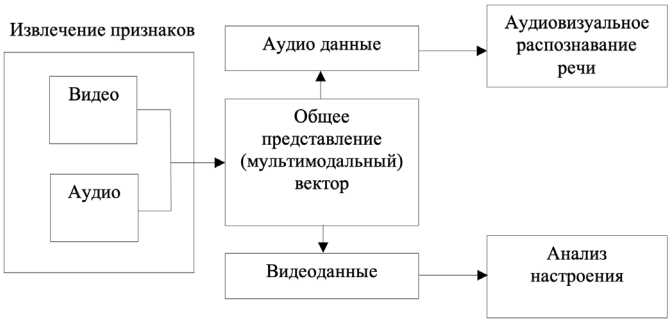


Рис. 2. Схема мультимодального совместного представления аудио- и видеоинформации

Процесс установления соответствия между данными различных типов (например, аудио и видео) называется мультимодальным выравниванием данных. При этом устанавливается, какие элементы одной модальности соответствуют элементам другой. Система распознает, какой звук относится к определенному объекту или действию на видео или изображении. Выравнивание бывает неконтролируемым и контролируемым. В контролируемом выравнивании применяют специально размеченные данные, которые указывают, какой звук соответствует определенному объекту. Данный метод позволяет сделать процесс обучения более легким и улучшить точность определения соответствий, что обусловливает предпочтение его применения в СКЗ. В неконтролируемом выравнивании используется другой метод – модель сама ищет связи данных различных модальностей, опираясь на закономерности или структуру, при этом заранее размеченные данные не используются [6]. При этом сама модель усложняется и становится более ресурсоемкой, требующей дорогостоящего оборудования [10].

Мультимодальное слияние данных представляет собой объединение информации из различных источников (например, аудио и видео) в единое целое. Полученное представление используется моделью для анализа и принятия решений. Основная идея заключается в том, чтобы использовать взаимодополняющие данные разных модальностей для повышения точности и полноты восприятия. Выделяют три основных уровня мультимодального слияния данных: на уровне данных; на уровне признаков; на уровне решений.

Мультимодальное слияние на уровне данных осуществляется на самой ранней стадии их обработки. В этом случае исходные сведения из различных источников объединяются (например, аудио и видео объединяются в один поток), после чего обрабатываются как единый блок.

Мультимодальное слияние на уровне признаков реализуется после предварительной обработки данных. Каждая модальность обрабатывается отдельно, из нее извлекаются характерные признаки, после чего они образуют единый вектор, который используется для последующего анализа.

Мультимодальное слияние на уровне решений применяется на финальной стадии. Каждая модальность обрабатывается отдельно и формирует собственный результат (например, отдельный прогноз). Затем полученные итоги объединяются, и на их основе принимается окончательное решение. Различие между уровнями слияния заключается в том, на каком этапе происходит объединение информации: до обработки, в процессе извлечения признаков или уже после получения отдельных результатов [6].

В СКЗ находят применение все три уровня мультимодального слияния данных. Однако предпочтение отдается первым двум в силу их более глубокой методической проработки для практического использования.

2. ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТЕКСТНОГО ПОНИМАНИЯ СЦЕН В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Для КПС в СКЗ наиболее важным является семантическое описание изображения, то есть выделение значимых элементов сцены и связей между ними. В прикладных задачах, решаемых СКЗ, этого часто достаточно для выполнения конкретных действий. Например, в автопилотном транспорте для безопасной езды, системе СКЗ нужно не просто восстанавливать геометрию определенной сцены, а выделять дорогу, обочину, пешеходов и препятствия.

На практике семантическое описание изображения предполагает его трехуровневую обработку. Фактически, каждый уровень обработки сцены включает определенный перечень задач и является определенным уровнем ее понимания [11].

Первый уровень охватывает базовую обработку первичных данных. На этом уровне решаются задачи фильтрации шумов, заполнения пропусков в данных, детекции движений и первичной агрегации аудио- и видеосигналов.

На втором уровне осуществляется более глубокий анализ происходящих событий. Система переходит от регистрации сигналов к выделению конкретных объектов и источников звука.

Третий уровень отвечает за когнитивную интерпретацию и установление причинно-следственных связей. На этом

уровне анализируется взаимное влияние объектов, прогнозируется развитие ситуации и формируются ответы на сложные запросы по содержанию сцены (например, как объехать препятствие на дороге, как обогнать автомобиль и др.).

Рассмотрим СКЗ, способную выделять определенные объекты и источники звука, то есть базирующуюся на втором уровне понимания сцены. В ней реализовано раннее лексическое обучение на основе данных, поступающих по двум перекрестным каналам: видео и аудио [6]. Кроме того, в данной системе используется адаптивный метод анализа данных (анализ данных с динамическими весами), позволяющий использовать при обучении данные обоих каналов, отдавая приоритет данным из тех каналов, в которых они менее зашумлены. Объединение данных и возможность переключения (перераспределения весов при анализе) на более помехоустойчивые каналы в зависимости от складывающейся обстановки позволяют формировать устойчивые концепты, в которых один признак (например, звуковой) подкрепляет визуальный образ. Это существенно повышает точность распознавания сцены.

Результаты проведенных экспериментов, которые представлены на рис. 3, показывают, что использование естественных аудиовизуальных пар позволяет идентифицировать около 70–75% объектов даже в условиях высокого зашумления, тогда как работа только с одним типом данных (например, только с видео) приводит к ухудшению результата (точность распознавания сцены менее 40%).

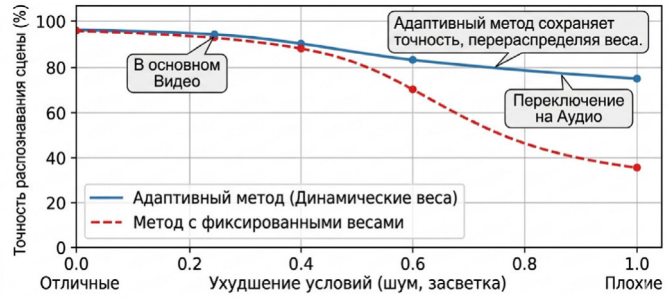


Рис. 3. Сравнение адаптивного метода и метода с фиксированными весами при разных условиях

Статический метод анализа с фиксированными весами (полученные результаты на его основе показаны на рисунке красной пунктирной линией) демонстрирует резкую деградацию точности (в пределах 60%). При достижении критического уровня помех его эффективность падает ниже 40%, так как в системе продолжает использоваться видеоканал со значительными искажениями.

Адаптивный метод с динамическими весами (синяя сплошная линия), напротив, демонстрирует для плохих условий гораздо меньшее ухудшение точности (в пределах 18%). Благодаря перераспределению приоритетов в пользу аудиоканала при зашумлении видеоданных точность распознавания удерживается на уровне выше 70% даже в самых неблагоприятных сценариях.

В рамках практической реализации СКЗ критически важно не просто суммировать данные, а динамически оценивать надежность (качество данных) каждого канала. Например, если изображение «размыто» или ослеплено светом, СКЗ должна автоматически повышать вес аудиоинформации.

Демонстрационный пример функционирования СКЗ, основанной на втором уровне понимания сцены, в плане выбора более надежного канала для предотвращения ошибки в оценке складывающейся дорожной ситуации на автомобильной трассе приведен на рис.4.

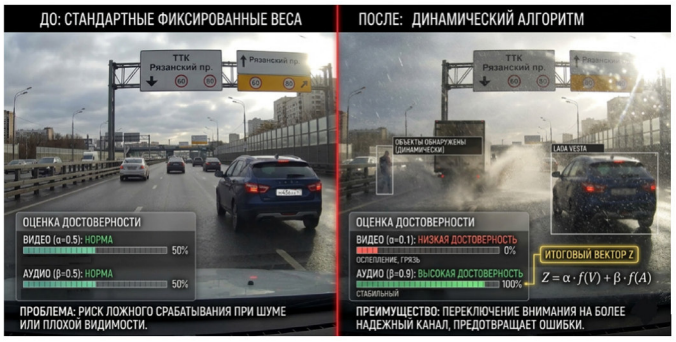


Рис. 4. Пример выбора более надежного канала для предотвращения ошибки в оценке складывающейся дорожной ситуации на автомобильной трассе

На левом снимке данного рисунка показана достаточно простая ситуация, в которой для оценки достоверности дорожной ситуации, видео- и аудиоканалы равнозначны. На правом снимке из-за возникшей аномалии, приведшей к снижению видимости по видеоканалу, для оценки достоверности дорожной ситуации предпочтение отдано аудиоканалу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в интересах повышения точности СКЗ в предметных областях (например, в автопилотном транспорте, в медицине и др.), где цена ошибки при распознавании объекта или события достаточно высока, для КПС необходимо использовать ММО.

При этом необходимо учитывать следующие особенности применения ММО.

1. Процесс ММО нетривиален и базируется на применении таких методов обработки информации, как: представление модальностей данных, мультимодальное выравнивание данных, мультимодальное преобразование данных, совместное обучение и слияние данных. Эти методы обеспечивают более глубокое семантическое понимание сцен по сравнению с унимодальными методами обучения, основанными на одном типе данных.

2. В рамках реализации метода представления модальностей данных в качестве обработчика данных целесообразно

использовать предобученную модель типа «трансформер», способную оперативно обрабатывать разнородные данные и обеспечивающую наилучшую точность при работе с зашумленными данными.

3. При выборе вида мультимодального выравнивания данных следует отдать предпочтение контролируемому выравниванию, оперирующему размеченными данными, что обусловливает простоту его реализации и меньшую ресурсоемкость по сравнению с неконтролируемым выравниванием.

4. Предпочтительным результатом мультимодального преобразования данных является вектор, в котором сохраняются данные и устанавливаются связи для каждой модальности.

5. В СКЗ могут использоваться три уровня мультимодального слияния данных (на уровне данных; на уровне признаков; на уровне решений). Однако предпочтение следует отдать первым двум уровням в силу их более глубокой методической проработки для практического использования.

Результаты проведенных экспериментов и демонстрационный пример показывают более высокую эффективность функционирования СКЗ, в которой для анализа КПС использовано ММО, по сравнению с унимодальным обучением.

Основными проблемами в данной предметной области являются: во-первых, проблема точной синхронизации аудио- и видеоданных, во-вторых, сложность выделения причинно-следственных связей между событиями. Именно эти проблемы сейчас остаются наименее проработанными и требуют дальнейшего изучения.

***Рецензент: Бурый Алексей Сергеевич,** доктор технических наук, заместитель начальника научного отдела, ФГБУ «Институт стандартизации», Москва, Российская Федерация. E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru*

Список литературы

1. Морозов В.П., Белоусов В.Е., Мистров Л.Е., Сырин А.И. Свойства и информационные процессы мозга человека для разработки нейроморфных систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 5(74). С. 48–55.
2. Сысков А. М., Борисов В. И., Петренко Т. С. Проектирование мультимодальных интерфейсов мозг-компьютер. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2023. – 131 с.
3. Потапов А.С. Системы компьютерного зрения. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 161 с.
4. Рой Д., Пентланд А. Обучение словам на основе зрительных и звуковых данных: вычислительная модель // Cognitive Science. 2002. Т. 26, №1. С. 113–146.
5. Крейман Г. Биологическое и компьютерное зрение. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 314 с.
6. Дэвис Р., Тёрк М. Компьютерное зрение. Передовые методы и глубокое обучение. – М.: Издательство «ДМК Пресс», 2022. – 690 с.
7. Иванько Д.В., Рюмин Д.А. Обзор нейросетевых методов распознавания и синтеза звучащей и жестовой речи // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24, № 5. С. 669–686.
8. Морозов В.П., Белоусов В.Е., Суханова Д.А., Суханов В.В. Облик информационных систем верификации субъектной информации // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 1(82). С. 57–62.
9. Гринчук О.В., Цурков В.И. Обучение мультимодальной нейронной сети для определения подлинности

References

1. Morozov V.P., Belousov V.E., Mistrov L.E., Syrin A.I. Svojstva i informacionnye processy mozga cheloveka dlya razrabotki nejromorfnyh sistem. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2023, no. 5(74), pp. 48–55. (In Russ.).
2. Syskov A. M., Borisov V. I., Petrenko T. S. Proektirovanie mul'timodal'nyh interfejsov mozg-komp'yuter. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2023, 131 p. (In Russ.).
3. Potapov A.S. Sistemy komp'yuternogo zreniya. Uchebnoe posobie. SPb: Universitet ITMO, 2016, 161 p. (In Russ.).
4. Roj D., Pentland A. Obuchenie slovam na osnove zritel'nyh i zvukovyh dannyh: vychislitel'naya model'. Cognitive Science. 2002, vol. 26, no, pp. 113–146. (In Russ.).
5. Krejman G. Biologicheskoe i komp'yuternoe zrenie. Moscow: DMK Press, 2021, 314 p. (In Russ.).
6. Devis R., Tyork M. Komp'yuternoe zrenie. Peredovye metody i glubokoe obuchenie. Moscow: Izdatel'stvo «DMK Press», 2022, 690 p. (In Russ.).
7. Ivan'ko D.V., Ryumin D.A. Obzor nejrosetevyh metodov raspoznavaniya i sinteza zvuchashchej i zhestovoj rechi. Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki. 2024, vol. 24, no. 5, pp. 669–686. (In Russ.).
8. Morozov V.P., Belousov V.E., Suhanova D.A., Suhanov V.V. Oblik informacionnyh sistem verifikacii sub»ektnoj informacii. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2025, no. 1(82), pp. 57–62. (In Russ.).
9. Grinchuk O.V., Curkov V.I. Obuchenie mul'timodal'noj nejronnoj seti dlya opredeleniya podlinnosti

изображений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2020. № 4. С. 103–109.
10. Морозов В.П., Белоусов В.Е., Моисеев С.И. Техническое обеспечение информационных систем компьютерного зрения // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 4(68). С. 35–41.
11. Борисова И.В. Компьютерное зрение: цифровая обработка и анализ изображений. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – 163 с.

izobrazhenij. Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya. 2020, no 4, pp. 103–109. (In Russ.).
10. Morozov V.P., Belousov V.E., Moiseev S.I. Tekhnicheskoe obespechenie informacionnyh sistem komp'yuternogo zreniya. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2022, no. 4(68), pp. 35–41. (In Russ.).
11. Borisova I.V. Komp'yuternoe zrenie: cifrovaya obrabotka i analiz izobrazhenij. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2022. 163 p. (In Russ.).

УДК 006.85:006.91

О НЕОБХОДИМОСТИ И СПОСОБАХ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ КАЛИБРОВКУ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА ОПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

ON THE NECESSITY AND METHODS OF CONFIRMING THE COMPETENCE OF ORGANIZATIONS THAT CALIBRATE MEASURING DEVICES USED AT A DANGEROUS PRODUCTION FACILITY

Лаврик В.В., мастер ремонтно-монтажного участка II класса, цех метрологии и автоматизации, Публичное Акционерное Общество «Кокс» (Кемерово, Россия)

Lavrik V.V., master of the repair and installation site II class, metrological and automation workshop, Public Joint Stock Company «KOKS» (Kemerovo, Russia)

В статье исследованы способы подтверждения компетентности организаций, выполняющих метрологические работы по калибровке средств измерений (СИ), технических систем и устройств с измерительными функциями, применяемых при: изготовлении (монтаже); проведении испытаний и пусконаладочных работ; выполнении производственного контроля в процессе эксплуатации; выполнении освидетельствований и промышленной экспертизы опасных производственных объектов и/или технических устройств, оборудования, конструкций зданий и сооружений. Объяснена важность проведения калибровки СИ при получении достоверных результатов измерений. Разработаны предложения в обязательные требования, направленные на повышение безопасности эксплуатации опасных производственных объектов.

The article examines ways to confirm the competence of organizations performing metrological work on calibration of measuring instruments (MI), technical systems and devices with measuring functions. Used in: manufacturing (installation); conducting tests and commissioning; performing production control during operation, performing surveys and industrial expertise; hazardous production facilities and/or technical devices, equipment, structures of buildings and structures. The importance of calibration of MI in obtaining reliable measurement results is explained. Proposals have been developed for mandatory requirements aimed at improving the safety of operation of hazardous production facilities.

Ключевые слова: калибровка (средств измерений), средства измерений, подтверждение компетентности, обеспечение единства измерений, опасный производственный объект.

Keywords: calibration, measuring instrument, confirmation of competence, ensuring the uniformity of measurements, hazardous production facility.

Для цитирования: Лаврик В.В. О необходимости и способах подтверждения компетентности организаций, выполняющих калибровку средств измерений, эксплуатируемых на опасном производственном объекте // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 27–32.

For citation: Lavrik V.V. On the necessity and methods of confirming the competence of organizations that calibrate measuring devices used at a dangerous production facility. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026; 4(91): 27–32. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Достоверность измерительной информации играет ключевую роль в обеспечении безопасности эксплуатации опасных производственных объектов[1] (ОПО) [1, 2]. Это достигается применением средств измерений (СИ) с подтвержденными метрологическими характеристиками. Согласно Федеральному закону от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» технические системы и устройства с измерительными функциями (ТСУИФ), такие как автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП) [3], резервуары и другие, подпадают под те же требования, что и СИ.

Для обеспечения безопасности ОПО критически важно применять СИ с подтвержденными метрологическими характеристиками [4] на протяжении всего их жизненного цикла.

При изготовлении и после ремонта ОПО или его конструктивных элементов применение СИ с подтвержденными метрологическими характеристиками позволит максимально

[1] Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». URL: https:// www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения: 20.04.2026).

исключить наличие дефектов и брака. Например, при изготовлении сосудов, работающих под избыточным давлением в соответствии с п.149 федеральных норм и правил (ФНП)[2] для обеспечения качества сварочных швов, следует подвергать измерительному контролю качество исходного сырья и материалов (стилоскопированием или другим спектральным методом подтверждается фактическая марка металла или наличие в нем легирующих элементов) [5].

При выполнении испытаний (освидетельствований) в процессе приемки и эксплуатации – на этапе выполнения пусконаладочных работ.

В процессе эксплуатации достоверные результаты измерений позволят оператору принимать правильные управляющие решения, не допуская или минимизируя возникновение инцидентов и аварий. Точность и правильность измерений непосредственно влияют на правильность и своевременность формирования управляющих воздействий системами автоматического управления САУ (регуляторами); на правильность и своевременность срабатывания систем противоаварийной защиты (ПАЗ) и предупредительной сигнализации (ПАС) [4].

На основании достоверных измерений ответственные смогут объективно оценить техническое состояние ОПО при проведении мониторинга и будут принимать взвешенные решения, направленные на планирование технического обслуживания и ремонтов.

Также при проведении промышленной экспертизы технических устройств, зданий и сооружений на опасном производственном объекте, предназначенных для осуществления технологических процессов, хранения сырья или продукции, перемещения людей и грузов, эксперты могут дать правильное заключение, основываясь на достоверных измерениях. Например, лаборатории неразрушающего контроля согласно п. 5.5 правил аттестации[3] должны использовать СИ с подтвержденными метрологическими характеристиками (поверенные или калиброванные).

СИ, применяемые на ОПО и отнесенные к сфере государственного регулирования [6] в области обеспечения единства измерений, подлежат следующим формам метрологического контроля (МК):

1) утверждению типа СИ;

2) поверке;

3) метрологической экспертизе;

4) федеральному государственному метрологическому контролю (надзору);

5) методики (методы) измерений аттестуются;

6) юридические лица и индивидуальные предприниматели проходят процедуру аккредитация на право выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

При этом компетентность задействованных организаций подтверждается и контролируется целым комплексом мероприятий и контролирующих органов. Например, организации, оказывающие метрологические услуги по проведению испытаний с целью утверждения типа СИ, поверки, метрологической экспертизы, аттестации методик (методов) измерений [7], проходят процедуру подтверждения компетентности в процессе аккредитации на право выполнения работ в области обеспечения единства измерений Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитация).

СИ, не относящиеся к сфере государственного регулирования, могут быть поверены в добровольном порядке или подвергнуты процедуре калибровки. При этом с точки зрения закона № 102-ФЗ калибровка СИ проводится в добровольном порядке и государственному регулированию не подлежит. Тогда возникает вопрос о компетентности метрологических служб (МС), эксплуатирующих ОПО [8] организаций и калибровочных лабораторий, оказывающих метрологические услуги. При отсутствии внешнего контроля правильность выполнения калибровочных работ сводится к порядочности калибровочной лаборатории, что недопустимо при эксплуатации ОПО.

Объективно установить компетентность калибровочных лабораторий инспекторы Ростехнадзора не могут ввиду отсутствия или недостаточности знаний в области обеспечения единства измерений [9].

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ КАЛИБРОВОЧНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

В настоящее время в России на принципах добровольности могут создаваться системы калибровки СИ организациями, ассоциациями, ведомствами, корпорациями и т.д.

Из наиболее авторитетных и признанных следует выделить систему калибровки, организованную Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) – Российская система калибровки[4]

[2] Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373204/ (дата обращения: 20.04.2026).

[3] СДАНК-01-2020. Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_376456/ (дата обращения: 20.04.2026).

[4] *Российская система калибровки (РСК)* – совокупность добровольно объединившихся юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, деятельность которых в части организации и выполнения калибровочных работ направлена на обеспечение единства измерений в стране вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений и осуществляется в соответствии с едиными требованиями, гармонизированными с международными требованиями и нормами [РД РСК 01-2014].

(РСК) и Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитация) в национальной системе аккредитации[5] [10].

РСК является первой в России системой, выполняющей функции национальной системы калибровки. РСК была организована Госстандартом России на базе Всероссийского научно-исследовательского института метрологической службы (ВНИИМС) [11–13].

Организационная структура РСК (рис. 1) состоит из совета, технических комитетов (ТК), научно-методического центра (НМЦ), исполнительного органа, уполномоченных экспертных организаций, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, зарегистрированных в Реестре РСК в качестве калибровочных лабораторий[6]. Работа РСК регламентирована руководящими документами и рекомендациями по метрологии[7],[8].



Рис. 1. Структурная схема Российской системы калибровки (РСК)

РСК – Российская система калибровки; ФГУП «ВНИИМС» – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»; ГНМИ – государственные научные метрологические институты; ГРЦМ – государственные региональные центры стандартизации и метрологии; ОЦСМ – отраслевые центры стандартизации и метрологии; ТК – технический комитет.

Совет РСК является постоянно действующим совещательным органом, создается в целях содействия выработке и реализации технической политики, нормативному регулированию калибровочной деятельности, совершенствованию и координации работы РСК. Членами Совета РСК могут быть представители Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, директора государственных научных метрологических институтов (ГНМИ).

Технические комитеты в РСК образуются по видам измерений на базе профильных ГНМИ. Председатель ТК назначается директором соответствующего ГНМИ. В состав ТК входят секретариат и члены ТК. Членами ТК могут быть ведущие специалисты и ученые заинтересованных организаций, организаций – заказчиков калибровочных работ, разработчиков, изготовителей средств измерений, лабораторий, проводящих испытания средств измерений в целях утверждения типа, и т.д. При необходимости по разделам области (вида) измерений в ТК могут быть образованы подкомитеты.

Исполнительный орган и НМЦ организованы на базе ФГУП «ВНИИМС». НМЦ осуществляет научно-методическое сопровождение и контроль за деятельностью субъектов РСК. Исполнительный орган выполняет непосредственную оперативную деятельность по реализации целей функционирования РСК.

Непосредственно проверку компетентности калибровочных лабораторий выполняют уполномоченные экспертные организации РСК. Экспертными организациями РСК являются государственные научные метрологические институты, государственные региональные центры метрологии и отраслевые центры стандартизации и метрологии, имеющие в своем составе подготовленных специалистов.

Для выполнения условий признания международной организацией по аккредитации лабораторий (ILAC) результатов испытания продукции в России потребовалось создать национальную систему калибровки в структуре Росаккредитации, являющейся национальным органом по аккредитации. Разработанная схема аккредитации калибровочных лабораторий[9] соответствует требованиям пунктов

[5] Аккредитация в национальной системе аккредитации (аккредитация) – подтверждение национальным органом по аккредитации соответствия юридического лица или индивидуального предпринимателя Критериям аккредитации, являющееся официальным свидетельством компетентности юридического лица или индивидуального предпринимателя осуществлять деятельность в определенной области аккредитации [СМ № 03.1-9.0007].

[6] РД РСК 02–2020 Руководящий документ. Порядок организации деятельности Российской системы калибровки. Российская система калибровки (РСК). URL: https://www.vniims.ru/download/doc/nauchno_ metodich_centre/РД%20РСК%2002-2020.pdf (дата обращения: 20.04.2026).

[7] Там же

[8] Р 50.2.098–2015 Рекомендации по метрологии. Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок ведения реестра Российской системы калибровки. URL: https://www.consultant.ru/search/?q=Р+50.2.098-2015+ (дата обращения: 20.04.2026).

[9] СМ № 03.1–9.0007 Схема аккредитации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, выполняющих работы и (или) оказывающих услуги по калибровке средств измерений, в национальной системе аккредитации. Версия 02.1 Апрель 2024 г. URL: https://fsa.gov.ru/documents/15065/ (дата обращения: 20.04.2026).

4.6 и 7 ГОСТ ISO/IEC 17011-2018[10] и пункта 1.1 статьи 4 Федерального закона № 412-ФЗ[11].

Структурная схема подтверждения компетентности калибровочных лабораторий в национальной системе калибровки и метрологической прослеживаемости к международным эталонам приведена на рис. 2.



Рис. 2. Схема аккредитации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, выполняющих работы и (или) оказывающих услуги по калибровке средств измерений, в национальной системе аккредитации.

При Росаккредитации создан общественный совет по аккредитации, формируемый из независимых от органов государственной власти Российской Федерации: экспертов, аккредитованных организаций, представителей общественных организаций (в том числе общественных объединений предпринимателей, общественных объединений потребителей), научных организаций, экспертных организаций и иных юридических лиц, физических лиц.

Совет является постоянно действующим совещательным органом и создается в целях содействия выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области аккредитации.

Установление компетентности калибровочных лабораторий выполняется экспертными организациями, включенными в реестр. В состав экспертных групп входят эксперт по аккредитации и технические эксперты. При этом в состав экспертной группы включаются технические эксперты, являющиеся работниками государственных научных метрологических институтов.

Для рассмотрения жалоб на решения или действия (бездействие) Росаккредитации и должностных лиц в связи с отказом в аккредитации (в том числе с отказом в части заявленной области аккредитации, в расширении области аккредитации), приостановлением или прекращением действия аккредитации, сокращением области аккредитации по обращениям заявителей, аккредитованных лиц, федеральных органов исполнительной власти при национальном органе по аккредитации создана комиссия по апелляциям.

За аккредитованными лабораториями, а также за результатами их деятельности осуществляется Федеральный государственный контроль (надзор) территориальными органами Росаккредитации. Государственный контроль осуществляется в соответствии с Федеральным законом № 248-ФЗ[12], статьей 27 Федерального закона № 412-ФЗ, Положением о государственном контроле, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 1002[13] .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве системы, позволяющей обеспечить достоверность измерений, полученных на ОПО с помощью калиброванных СИ, и их метрологическую прослеживаемость к эталонам, подойдут обе из исследованных систем. При этом в совет РСК может войти представитель Ростехнадзора для участия в работе системы. Система РСК предусматривает значительное методическое сопровождение калибровочных лабораторий путем привлечения метрологических институтов и региональных метрологических центров России. Система Росаккредитации является в большей степени надзорной и ориентирована на признание международными организациями результатов калибровки, выполненной при проведении испытаний продукции, и обеспечения метрологической прослеживаемости измерений к международным эталонам.

Для обеспечения безопасности ОПО автор предлагает ввести в обязательные требования к организациям, их эксплуатирующим, выполняющим пусконаладочные работы, приемочные и периодические испытания (освидетельствования), промышленную экспертизу, обязательность применения СИ, прошедших калибровку в лабораториях, имеющих подтверждение компетентности в системе РСК или Росаккредитации.

[10] ГОСТ ISO/IEC 17011—2018 Оценка соответствия. Требования к органам по аккредитации, аккредитующим органы по оценке соответствия. – М.: Стандартинформ, 2020. (Дата введ. 2019-06-01).

[11] Федеральный закон от 28.12.2013 № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации». URL: https://fsa.gov.ru/documents/5328/ (дата обращения: 20.04.2026).

[12] Федеральный закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358750/ (дата обращения: 20.04.2026).

[13] Положением о государственном контроле: постановление Правительства Российской Федерации от 25 июня 2021 № 1002. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388666/ (дата обращения: 20.04.2026).

Целесообразно разработать программу, позволяющую максимально эффективно организациям, эксплуатирующим ОПО, обеспечить СИ калиброванными компетентными лабораториями. На основании анализа собранных статистических данных возможно оценить калибровочный потенциал организаций и установить временны́е рамки переходного периода.

Для чего следует собрать следующую информацию:

– какое количество СИ эксплуатируется на ОПО, подлежащих калибровке (ТСУИФ, например АСУТП, оценивается по количеству автономных СИ и количеству измерительных каналов);

– к какому виду измерений они относятся (в соответствии с МИ общее количество может отличаться, т.к. некоторые СИ могут иметь по несколько измерительных каналов);

– калибровка выполняется собственными силами (по видам измерений), вид измерений находится в подтвержденной области или нет;

– калибровка осуществляется у сторонней организации (по видам измерений), вид измерений находится в подтвержденной области или нет;

– планирует ли организация выполнять калибровку своими силами и по каким видам измерений и в какой организации планирует подтверждать компетентность.

Для работников метрологических служб, эксплуатирующих ОПО и ответственных за метрологию на ОПО, провести семинары и конференции. Разработать программы повышения квалификации, например: метрологическое обеспечение ОПО.

***Рецензент: Бурый Алексей Сергеевич**, доктор технических наук, заместитель начальника научного отдела, ФГБУ «Институт стандартизации», Москва, Российская Федерация. E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru*

Список литературы

1. Лаврик В.В. Метрологическое обеспечение опасных производственных объектов // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность – 2025): Материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 6 мая 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. – С. 116–121. – EDN QQRREK.
2. Ильина И.Л., Зайцева Н.В. Точность измерений как основа безопасной эксплуатации опасных производственных объектов // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2025. № 12. С. 99–100. – EDN RISBVM.
3. Исаев Л.К., Кононогов С., Крутиков В.Н., Надеин В.А. Метрологическое обеспечение систем промышленной безопасности потенциально опасных объектов // Измерительная техника. 2011. № 8. С. 57–60. – EDN OFUWUX.
4. Храменков В.Н., Надеина О.В. Обоснование требований к достоверности поверки средств измерений (измерительных каналов измерительных систем), применяемых для комплектации разрабатываемого технического объекта // Вестник метролога. 2024. № 3. С. 6–7. – EDN KWHQYG.
5. Лаврик В.В. Анализ федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным дав-

References

1. Lavrik V.V. Metrological support of hazardous production facilities. Science, education, production for countering technogenic threats and solving environmental problems (Technosphere safety- 2025): Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference, Ufa, May 06, 2025. Ufa: Ufa University of Science and Technology, 2025, pp. 116–121. (In Russ.).
2. Ilyina I.L., Zaitseva N.V. Measurement accuracy as the basis for safe operation of hazardous production facilities. Modern technologies and scientific and technological progress. 2025, no. 12, pp. 99–100.
3. Isaev L.K., et al. Metrological support of industrial safety systems for potentially dangerous facilities. Measuring technology. 2011no. 8, pp. 57–60. (In Russ.).
4. Khramenkov V.N., Nadeina O.V. Substantiation of the requirements for the reliability of the verification of measuring instruments (measuring channels of measuring systems) used to complete the technical object under development. Bulletin of the metrologist. 2024. no. 3, pp. 6–7. (In Russ.).
5. Lavrik V.V. Analysis of federal norms and rules in the field of industrial safety «Rules of industrial safety when using equipment operating under excessive pressure» for compliance with legislation in the field of ensuring the uniformity of measurements. Legislative and applied Metrology. 2023, no 2(182), pp. 12–18. (In Russ.).
6. Lavrik V.V. Features of determining the scope of state regulation of measurements performed for industrial

лением» на соответствие законодательству в области обеспечения единства измерений // Законодательная и прикладная метрология. 2023. № 2(182). С. 12–18. – EDN GKGEQG.
6. Лаврик В.В. Особенности определения сферы государственного регулирования измерений, выполняемых для производственного контроля на опасном производственном объекте // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: сборник материалов IV Международной научной конференции, 19 февраля 2026 г. – Макеевка : ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ, 2026. – С. 81–84.
7. Лаврик В.В. Нормативное обеспечение аттестации испытательного оборудования // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 1(88). С. 66–71.
8. Лаврик В.В. О необходимости создания и способах подтверждения компетентности метрологических служб на предприятиях, эксплуатирующих ОПО // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности : Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Казань, 16–17 апреля 2025 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2025. – С. 880–888. – EDN UJXLBS.
9. Лаврик В.В. О необходимости создания метрологической службы в составе Ростехнадзора // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «С.-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; под общ. ред. Ю. Л. Моревой. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2025. – С. 166–170.
10. Генкина Р.И. Перспективы создания Национальной системы капибровки РФ на основе взаимодействия Росстандарта и Росаккредитации / Р. И. Генкина // Главный метролог. – 2016. – № 4(91). – С. 30–34.
11. Генкина Р.И., Кононогов С. А., Сковородников В. А. Прошлое, настоящее и будущее Российской системы калибровки // Главный метролог. 2014. № 5(80). С. 2–6.
12. Генкина Р.И., Исаева А. Д., Волченко Е. Е. Система калибровки РСК: история и сегодняшний день // Главный метролог. 2018. № 1(100). С. 26–31. – EDN ORPKPD.
13. Генкина Р.И. Российской системе калибровки 25 лет // Законодательная и прикладная метрология. 2020. № 3(165). С. 3–5. – EDN GVAZDF.

control at a hazardous production facility. Problems of technosphere and environmental safety in industry, construction and urban economy: proceedings of the IV International Scientific Conference, February 19, 2026. Makeyevka : DONNASA – branch of the National Research University MGSU, 2026, pp. 81–84. (In Russ.).
7. Lavrik V.V. Regulatory Support For The Certification Of Test Equipment. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026, no. 1(88), pp. 66–71. (In Russ.).
8. Lavrik V.V. On the need to create and ways to confirm the competence of metrological services at enterprises operating environmental protection systems. Modern technologies in the field of environmental protection and technosphere safety : Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with international participation, Kazan, April 16-17, 2025. Kazan: Kazan National Research Technological University, 2025, pp. 880–888. (In Russ.).
9. Lavrik V.V. On the need to create a metrological service as part of Rostechnadzor. Modern trends in the development of chemical technology, industrial ecology and environmental safety: Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference, Ministry of Education and Science of the Russian Federation; FSBI VO «S.-St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design»; under the general editorship of Yu. L. Moreva. St. Petersburg: HSE SPbGUPTD, 2025, pp. 166–170. (In Russ.).
10. Genkina R.I. Prospects of creating a National calibration system of the Russian Federation based on the interaction of Rosstandart and Rosaccreditation. Chief Metrologist. 2016, no. 4(91), pp. 30–34. (In Russ.).
11. Genkina R.I., Kononogov S.A., Skovorodnikov V.A. The past, present and future of the Russian calibration system. Chief Metrologist. 2014, no. 5(80), pp. 2-6. (In Russ.).
12. Genkina R.I., et al. Sistema kalibrowki RSC: Historia JMB and segodn jmbmb day JMB. Chief Metrologist. 2018, no. 1(100), pp. 26–31. (In Russ.).
13. Genkina R.I. The Russian calibration system is 25 years old. Legislative and applied Metrology. 2020, no. 3(165), pp. 3–5. (In Russ.).

УДК 658.58:004.94

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ORGANIZING A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR COMPLEX TECHNICAL PRODUCTS USING DIGITAL TWINS

Садреев Ф.Г., канд. техн. наук, б.з., доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)

Молчанова Ю.О., старший преподаватель, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва, Россия)

Sadreev F.G., Ph.D., Associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia)

Molchanova Yu.O., Senior Lecturer, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia)

В статье рассматривается актуальная проблема повышения качества сложных технических изделий в условиях цифровой трансформации промышленности. Предложена комплексная методика организации системы управления качеством, интегрирующая технологию цифровых двойников в сквозной жизненный цикл изделия. Методика включает этапы формирования цифрового двойника, создания системы мониторинга и прогнозирования показателей качества, реализации адаптивной системы управления с выходом на исполнительные устройства, а также формирования и контроля показателей качества (с выделением надежности как ключевой подсистемы). Особое внимание уделено предиктивным моделям и замкнутому контуру «цифровой двойник – физический объект», позволяющему перейти от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию с элементами автоматической адаптации режимов. Реализация предложенной методики позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты, предотвратить критические отказы и повысить общую надежность и безопасность изделий.

Ключевые слова: управление качеством, цифровой двойник, жизненный цикл изделия, предиктивная аналитика, прогнозирование отказов, киберфизическая система, надежность как подсистема качества.

Для цитирования: Садреев Ф.Г., Молчанова Ю.О. Разработка методики организации системы управления качеством сложных технических изделий на стадии эксплуатации с использованием цифровых двойников // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4 (91). С. 33–41.

This article examines the pressing issue of improving the quality of complex technical products in the context of the digital transformation of industry. A comprehensive methodology for organizing a quality management system is proposed, integrating digital twin technology into the end-to-end product lifecycle. The methodology includes the stages of digital twin formation, the creation of a quality monitoring and forecasting system, the implementation of an adaptive control system with access to actuators, and the generation and monitoring of quality indicators (with reliability as a key subsystem). Particular attention is paid to predictive models and the closed-loop «digital twin – physical object» relationship, which enables a transition from scheduled preventive maintenance to condition-based maintenance with elements of automatic mode adaptation. Implementation of the proposed methodology significantly reduces operating costs, prevents critical failures, and improves the overall reliability and safety of products.

Keywords: quality management, digital twin, product lifecycle, predictive analytics, failure prediction, cyber-physical system, reliability as a quality subsystem

For citation: Sadreev F.G Molchanova Y.O. Development of a methodology for organizing a quality management system for complex technical products using digital twins. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026;4(91): 33–41. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленность характеризуется ростом сложности и наукоемкости технических систем, ужесточением требований к их безопасности, надежности и ресурсу. В условиях цифровой трансформации ключевым фактором конкурентоспособности становится способность обеспечить высокое и стабильное качество сложных технических изделий на всех этапах жизненного цикла. Особое значение приобретает **стадия эксплуатации**, на которой реальные показатели качества (безотказность, долговечность, ремонтопригодность, экономичность) непосредственно влияют на затраты владельца, безопасность и непрерывность производственных процессов.

Традиционные системы управления качеством, основанные на статистических методах контроля качества изготовления и планово-предупредительных ремонтах, достигают своего предела эффективности [1]. Их ключевой недостаток – разрыв между данными эксплуатации и процессами проектирования и производства, что не позволяет оперативно корректировать параметры изделия под реальные условия использования и своевременно предотвращать деградацию качества.

Актуальность темы обусловлена следующими факторами:

1. **Экономический**: затраты на эксплуатацию и поддержание качества сложных технических изделий зачастую многократно превышают их начальную стоимость; неплановые простои и отказы приводят к прямым и косвенным потерям.

2. **Технологический:** цифровые двойники стали технологически зрелым инструментом, позволяющим создавать виртуальные копии изделий с высокой точностью и в реальном времени.

3. **Нормативно-методический:** действующие стандарты в области менеджмента качества (ИСО 9000, ГОСТ Р ИСО 9001) требуют постоянного улучшения и принятия решений на основе фактов, что идеально согласуется с возможностями цифровых двойников [2].

4. **Практический:** отсутствуют комплексные методики, интегрирующие цифровых двойников в систему управления качеством именно на стадии эксплуатации с учетом многокритериальности показателей качества.

Одной из ключевых составляющих качества сложных технических изделий наряду с безопасностью, долговечностью, ремонтопригодностью и другими характеристиками является надежность. В соответствии с принципами всеобщего управления качеством (TQM) и требованиями ГОСТ Р ИСО 9001 управление надежностью не должно рассматриваться изолированно – оно интегрируется в общую систему менеджмента качества [2]. При этом цифровой двойник выступает интегратором, позволяя связать показатели надежности с остальными параметрами качества (например, энергоэффективностью, точностью позиционирования, экологичностью) в единой модели. Таким образом, предлагаемая методика рассматривает **управление надежностью как центральную, но не единственную подсистему управления качеством**, что позволяет перейти от фрагментарного контроля к целостному проактивному управлению качеством изделия в эксплуатации.

Внедрение **цифровых двойников** – виртуальных динамических моделей физических объектов, которые синхронизируются с ними посредством данных с датчиков и других источников, – также позволяет преодолеть ограничения традиционных систем управления качеством и устранить разрыв между данными эксплуатации и процессами проектирования [3, 4]. Цифровой двойник становится основой для создания принципиально новой, проактивной системы управления качеством, функционирующей на протяжении всего жизненного цикла изделия – от проектирования до утилизации [5].

Следует отметить особую роль цифровых двойников в информационном обеспечении процессов управления качеством. Они обеспечивают:

– непрерывный сбор и агрегацию данных о состоянии изделия в реальном времени;

– формирование единого информационного пространства для всех участников жизненного цикла;

– прослеживаемость изменений параметров качества на всех этапах – от закупки материалов до утилизации;

– обратную связь между эксплуатацией и проектированием, что сокращает время внесения конструктивных улучшений.

Целью данной работы является повышение эффективности системы управления качеством сложных технических изделий на стадии эксплуатации на основе разработки методики применения цифровых двойников, обеспечивающей:

– переход от планово-предупредительного обслуживания к управлению по фактическому состоянию с элементами автоматической адаптации режимов работы;

– интеграцию всех показателей качества (включая надежность) в единый информационный контур жизненного цикла;

– непрерывное прогнозирование и активное воздействие на параметры состояния, влияющие на качество.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть имеется сложное техническое изделие, функциональное состояние которого в момент времени t описывается вектором измеряемых параметров:

$$\mathrm{X}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\},$$

где $x_i(t)$ – контролируемые физические величины (температура, вибрация, давление, ток, деформации и др.), доступные через датчики.

Известны:

– конструкторские и технологические данные об изделии (геометрия, материалы, кинематические схемы);

– целевые значения показателей качества

$Q_{\text{target}} = \{q_{1\text{target}}, \dots, q_{\text{mtarget}}\}$;

– эксплуатационная история парка аналогов (отказы, ремонты, наработки, условия эксплуатации);

– ограничения на управляющие воздействия $U(t) \in U$ (например, допустимые режимы работы, периодичность обслуживания, ресурсные ограничения).

Цифровой двойник реализует отображение Φ для прогноза будущих состояний и показателей качества:

$$Y(t+\Delta t) = \Phi(\mathrm{X}(t), \mathrm{U}(t), \mathrm{W}(t), \mathrm{O}),$$ где:

– $Y(t+\Delta t)$ – прогнозируемые показатели качества и состояния;

– $\mathrm{U}(t)$ – управляющие воздействия (режимы работы, ТОиР);

– $\mathrm{W}(t)$ – внешние возмущения (температура среды, нагрузка, влажность);

– O – параметры моделей (физических, статистических, нейросетевых).

Граничными условиями решения задачи выступают:

1. Начальное состояние изделия при вводе в эксплуатацию: $X(t_0) = X_0$ с заданными допусками качества.

2. Предельно допустимые значения для каждого параметра качества: y_j^c (критические пороги, выход за которые приводит к отказу или недопустимой деградации).

3. Ограничения на ресурсы: финансовые, временны́е, трудовые при проведении обслуживания.

4. Условия эксплуатации: заданный диапазон внешних воздействий $W(t) \in \mathrm{W}$.

5. Требования к точности прогноза: среднеквадратическая ошибка прогноза остаточного ресурса не должна превышать $\varepsilon_{\mathrm{RUL}}$.

Целевая функция (критерий оптимальности управления качеством) формулируется как минимизация взвешенных отклонений показателей качества от целевых значений с учетом эксплуатационных затрат и потерь от отказов:

$$J = \sum_{k=1}^{K}[\alpha_k \cdot \Delta q_k + \beta_k \cdot C_o(k)] + \gamma \cdot C_f,$$ где:

– $\Delta q_k = |q_k - q_{ktarget}|$ – абсолютное или относительное отклонение k-го показателя;

– $C_o(k)$ – эксплуатационные затраты, связанные с обеспечением данного показателя;

– C_f – потери от критических отказов (включая ущерб от простоев, ремонтов, экологических последствий);

– $\alpha_k, \beta_k, \gamma$ – весовые коэффициенты, отражающие приоритеты.

Критерии оценки достижения цели.

1. **Точность прогноза** – среднеквадратическая ошибка прогноза остаточного ресурса и других показателей качества.

2. **Своевременность предотвращения отказов** – количество предотвращенных критических отказов на единицу наработки.

3. **Экономическая эффективность** – сокращение эксплуатационных затрат (в процентах) по сравнению с традиционной системой.

4. **Стабильность качества** – уменьшение дисперсии показателей качества во времени и по парку изделий.

При этом цифровой двойник решает задачу прогнозирования **остаточного ресурса** (RUL) для каждого критического узла, что является важнейшей составляющей управления надежностью как подсистемы качества:

$$RUL_j(t) = \inf\{\tau \geq 0 : y_j(t+\tau) \geq y_j^c\},$$

где y_j^c – предельно допустимое значение параметра качества для j-го узла.

Управляющее воздействие формируется на основе:

$$u(t) = \begin{cases} u_n, & \text{если } RUL_j(t) > T_s, \\ u_a, & \text{если } T_w < RUL_j(t) \leq T_s, \\ u_s, & \text{если } RUL_j(t) \leq T_w, \end{cases}$$

где T_s, T_w – пороговые значения безопасного и предупредительного уровней.

Задача, решаемая в рамках методики: разработать организационно-методическое обеспечение системы управления качеством сложного технического изделия, использующей цифровой двойник для непрерывного мониторинга, прогнозирования и активного воздействия на параметры состояния, причем управление надежностью является ключевой подсистемой, но не единственной.

I. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ (НАДЕЖНОСТЬ КАК ПОДСИСТЕМА)

Современное понимание систем менеджмента качества (СМК) базируется на процессном подходе, риск-ориентированном мышлении и постоянном улучшении. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001—2015 организация должна рассматривать качество как совокупность характеристик, удовлетворяющих требованиям. Цифровой двойник органично вписывается в эту парадигму, выступая в роли «цифрового сенсора» и «цифрового актуатора» качества.

В контексте управления качеством структура цифрового двойника включает:

– **Виртуальную модель** – математические и имитационные модели, описывающие физические процессы, влияющие на качество (прочностные, тепловые, гидродинамические, износа).

– **Модель данных** – структурированную информацию о состоянии изделия в реальном времени (телеметрия, нагрузки, условия эксплуатации) и за весь период его жизни (история обслуживания, ремонтов, отказов), формирующую «цифровой след».

– **Связь с физическим объектом** – постоянный обмен данными через IoT-платформы и промышленные сети.

– **Аналитические и прогнозные модели** – алгоритмы машинного обучения для анализа текущего состояния, прогнозирования остаточного ресурса, деградации качества и выявления аномалий [6, 7].

Управление надежностью в данной концепции выступает как центральная подсистема управления качеством, поскольку отказы являются наиболее критичными отклонениями качества. Однако предложенная методика позволяет также контролировать и другие аспекты качества (например, эффективность работы, точность позиционирования, энергопотребление) путем расширения набора показателей Q и соответствующих моделей. Требования к показателям надежности задаются в соответствии с ГОСТ Р 27.102—2021, но они интегрированы в общее дерево показателей качества (см. этап 4).

Цифровой двойник не является изолированным программным модулем – он встраивается в существующую инфраструктуру управления качеством предприятия как надстроечный уровень, обеспечивающий:

– сбор и консолидацию данных от систем класса MES, ERP, SCADA;

– двусторонний обмен с системами технического обслуживания и ремонта (EAM);

– интеграцию с PLM-платформами для обратной связи в проектирование;

– предоставление API для внешних сервисов (логистика, диагностика).

Таким образом, цифровой двойник становится ядром цифровой экосистемы качества, связывая процессы эксплуатации, контроля и улучшения.

Интеграция компонентов в рамках предлагаемой методики позволяет реализовать принцип непрерывного управления качеством в соответствии с требованиями международных стандартов (ИСО 9001) и отечественных рекомендаций по управлению надежностью как составляющей качества.

II. ЭТАПЫ МЕТОДИКИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Предлагаемая методика реализуется в **четыре последовательных этапа**, каждый из которых содержит конкретные шаги, процедуры и результаты.

Этап 1. Формирование цифрового двойника изделия (базовая инфраструктура качества)

Данный этап является фундаментальным и включает создание комплексной цифровой модели, способной отражать и прогнозировать параметры качества. Опирается на требования к цифровым двойникам, изложенные в ГОСТ Р 57700.37—2021.

Шаг 1.1. Сбор и систематизация исторических и конструкторских данных

– **Источники:** 3D-модели, чертежи, спецификации, технологические процессы, результаты расчетов (МКЭ), данные испытаний прототипов, эксплуатационная история парка.

– **Процедура:** формирование единой базы знаний с привязкой данных к конкретным компонентам изделия. Создается «паспорт качества» каждого узла.

– **Результат:** структурированное хранилище данных для последующего анализа причин отклонений качества.

Шаг 1.2. Разработка иерархической системы моделей

– **Геометрическая модель:** точная 3D-модель с кинематикой.

– **Физико-математические модели:** прочностные (МКЭ), тепловые, гидродинамические, модели износа и усталости материалов.

– **Функциональные (поведенческие) модели:** имитация работы систем управления, логики ПО, взаимодействия подсистем.

– **Процедура:** для каждой модели определяются входные параметры (влияющие на качество), выходные показатели и границы применимости.

– **Результат:** полный набор моделей, покрывающий все критические аспекты качества изделия.

Шаг 1.3. Интеграция с источниками данных в реальном времени

– Оснащение изделия датчиками (вибрация, температура, давление, ток, положение).

– Организация каналов связи (Wi-Fi, 5G, LPWAN) и создание платформы приема и обработки данных (масштабируемая архитектура, облачные технологии).

– **Результат:** синхронизированный цифровой двойник, получающий потоковую телеметрию с частотой, достаточной для мониторинга качества.

Контрольная точка этапа 1: цифровой двойник воспроизводит текущее состояние физического объекта с ошибкой не более допустимой (например, 5% по ключевым параметрам).

Этап 2. Создание системы мониторинга и прогнозирования показателей качества

На этом этапе цифровой двойник становится аналитическим инструментом для проактивного управления качеством. Реализуются требования к прогнозированию технического состояния, близкие к идеологии PHM (Prognostics and Health Management).

Шаг 2.1. Реализация виртуальных датчиков (Soft Sensors)

Не все важные для качества параметры можно измерить непосредственно, например, температурные напряжения в теле ротора или износ рабочего колеса. Здесь помогают виртуальные датчики (soft sensors). Они рассчитывают интересующую величину на основе комбинации физических измерений (вибрация, ток, температура корпуса) и математических моделей. Для ротора турбины строится тепловая конечно-элементная модель, которая по показаниям термопар на поверхности восстанавливает градиенты температур и соответствующие напряжения. Такой подход не требует установки дополнительной дорогостоящей аппаратуры, но дает оценку состояния, достаточную для принятия решений о допустимости дальнейшей работы.

Шаг 2.2. Внедрение предиктивных аналитических моделей качества

Необходимо использовать три типа алгоритмов. Первый – регрессионные модели (в том числе нейросетевые) для предсказания остаточного ресурса (*RUL*) и темпа деградации отдельных показателей (например, снижение КПД или увеличение люфта). Второй – классификаторы, которые распознают текущий режим работы (нормальный, переходный, аварийный) и тип развивающейся неисправности (дисбаланс, подшипник качения, повреждение зубчатой передачи). Третий – детекторы аномалий, которые фиксируют малозаметные отклонения от эталонного поведения, часто предшествующие критическим отказам. Все модели обучаются на исторических данных, собранных с цифрового двойника, а затем периодически дообучаются по мере поступления свежих записей. Выходом служит набор прогнозов с указанием доверительных интервалов – это позволяет инженеру оценить риски и выбрать время вмешательства.

Шаг 2.3. Формирование и ведение цифрового следа качества (Digital Thread)

Прослеживаемость данных – одна из важных частей предлагаемой методики. Цифровой след (digital thread) объединяет все сведения о детали или узле (от химического состава исходной заготовки и параметров термообработки до реальных режимов нагружения в эксплуатации и каждого выполненного ремонтного воздействия). Благодаря этому в любой момент можно восстановить полную «биографию» компонента – какой техпроцесс применялся, в каких условиях он работал, когда и с какой целью проводилось обслуживание. Такая связанность данных критична для поиска корневых причин отказов.

Важно, что цифровой след не статичен – он пополняется автоматически по мере поступления новых телеметрических данных, актов диагностики, записей о замене элементов. Каждое событие фиксируется с точной временно́й меткой и привязкой к конкретному экземпляру изделия. Для защиты от несанкционированных правок предлагается использовать распределенные реестры (например, блокчейн-платформы) либо централизованные системы с криптографическим контролем целостности – выбор зависит от требований заказчика и существующей IT-инфраструктуры. В итоге формируется достоверная, юридически значимая история качества, которая служит основой для объективного анализа инцидентов и выработки корректирующих мер.

Шаг 2.4. Валидация и верификация моделей цифрового двойника

Прежде чем полагаться на прогнозы цифрового двойника, необходимо убедиться в адекватности заложенных в него моделей. Различают верификацию (проверка математической корректности) и валидацию (сопоставление с реальными физическими процессами).

Верификация включает стандартные процедуры: тесты сходимости численных схем, сравнение с аналитическими решениями для упрощенных случаев, модульное тестирование программного кода. Однако основной объем работы приходится на валидацию. Здесь сравниваются предсказания модели с результатами натурных испытаний (или с данными эксплуатации для уже работающих машин), – например по температуре в контрольных точках, виброперемещениям, моментам сопротивления. Если расхождение превышает допустимый порог, проводится калибровка коэффициентов (трения, теплоотдачи, жесткости и т.д.).

Для прогностических моделей (оценка остаточного ресурса, вероятности отказа) валидация выполняется на ретроспективных данных: обучающая выборка – одна часть истории, тестовая – другая, с вычислением метрик MAPE, RMSE, F1-меры. По мере накопления свежих эксплуатационных данных модели переобучаются (не реже одного раза в квартал). Кроме того, должен проводиться периодический аудит чувствительности (оценка, как малые изменения входных параметров влияют на итоговый прогноз) и при необходимости уточняться границы применимости. Такой комплексный подход гарантирует, что решения по управлению качеством принимаются на основе достоверных оценок.

Шаг 2.5. Управление качеством данных цифрового двойника

Данные и их качество напрямую определяют точность прогнозов. Для каждого источника данных (датчики, системы АСУ ТП, ручной ввод) должен быть разработан план контроля, где фиксируются ответственные, требуемая точность, полнота, периодичность обновления и допустимые уровни шума. Автоматизированные скрипты выполняют первичную фильтрацию: отбрасывают выбросы, восстанавливают пропуски по тренду, проверяют согласованность между связанными каналами (например, давление и температура в гидросистеме). Если качество данных опускается ниже заданного порога, система генерирует предупреждение для инженера-диагноста. Верификация данных

(проверка форматов, диапазонов) встроена на этапе приема телеметрии, а валидация (соответствие физическому смыслу) выполняется на этапе обработки. Благодаря этим мерам любой прогноз базируется на корректной и непротиворечивой информации.

Этап 3. Реализация адаптивной системы управления качеством

Данный этап замыкает цикл управления: от прогноза к действию. Интегрируются процессы ТОиР, логистики и обратной связи в проектирование.

Шаг 3.1. Проактивное и адаптивное планирование технического обслуживания и ремонта (ТОиР)

Вместо унифицированных межремонтных сроков нужно формировать для каждой единицы техники собственный график обслуживания, привязанный к прогнозируемому остаточному ресурсу критических узлов. Система автоматически генерирует рекомендации: когда провести диагностику, какие операции выполнить, какие запасные части подготовить. Приоритетность назначения ремонтных бригад определяется «степенью срочности» – чем ближе прогнозируемый момент отказа к текущему времени, тем выше ранг заявки. Такой подход позволяет избегать внезапных простоев и рационально распределять трудовые и материальные ресурсы. В результате ожидаемое снижение простоев на 20–50% [1].

Шаг 3.2. Оптимизация управления запасами запасных частей (ЗИП)

Традиционная практика создания страховых запасов «на всякий случай» приводит к замораживанию значительных оборотных средств. В данной методике прогнозы остаточного ресурса для каждого экземпляра техники позволяют перейти к предиктивной логистике. Для каждого типа комплектующих (подшипники, фильтры, уплотнения, электронные блоки) система рассчитывает ожидаемую дату замены с учетом индивидуальной наработки и реальных условий работы. Эти данные агрегируются по парку, и на основе статистики отказов и текущих прогнозов формируется график поставок с привязкой к конкретным серийным номерам. В результате идет сокращение неснижаемого запаса на 20–30 %, одновременно снижается риск дефицита – заказ инициируется не по календарю, а по фактической потребности, что подтверждается моделями деградации. Автоматическая система подает заявки в отдел снабжения, когда прогнозируемый остаточный ресурс конкретной детали становится меньше времени на поставку плюс технологический запас.

Шаг 3.3. Обратная связь на этапы проектирования и производства

Одним из ключевых преимуществ цифрового двойника является возможность сравнить реальные эксплуатационные нагружения с теми, что были заложены в проекте. Сопоставляют фактические спектры нагрузок (моменты, вибрации, температуры) с расчетными, и если обнаруживается систематическое превышение, то это сигнал для пересмотра методик прочностных расчетов или ужесточения входного контроля материалов. Кроме того, анализируя данные по всему парку, можно выявить узлы, которые отказывают чаще других в определенных условиях (например, в холодном климате или при высокой запыленности). Такая информация передается конструкторам для внесения изменений в документацию следующих поколений изделий. А производственные подразделения получают обратную связь о том, какие технологические операции (например, термообработка или сварка) дают разброс качества, влияющий на ресурс. Так замыкается петля «эксплуатация → проектирование → производство», и каждое новое изделие оказывается лучше предыдущего.

Шаг 3.4. Сценарное моделирование и оптимизация режимов работы

Цифровой двойник позволяет «проигрывать» различные сценарии работы без риска для физического объекта. Можно задать альтернативные алгоритмы управления (например, изменить закон регулирования скорости или снизить пиковые нагрузки), и модель покажет, как это отразится на температуре, износе и остаточном ресурсе. На практике это помогает выбрать компромиссный режим, при котором производительность остается приемлемой, а ресурс увеличивается на 10–15 %. Также можно оценить эффективность предлагаемых модернизаций — замены материала, установки дополнительных датчиков или изменения смазочной системы — до того, как они будут внедрены в реальную конструкцию. Результатом становятся четкие рекомендации для эксплуатационного персонала: при каких внешних условиях (нагрузка, температура окружающей среды) стоит переходить на щадящий режим, а когда можно выходить на номинальную мощность.

Контрольная точка этапа 3: замкнутый контур «цифровой двойник – физический объект» функционирует с временем реакции не более $\Delta t_{\max}$ (например, 1 минута для автоматической адаптации).

Этап 4. Формирование, оценка и контроль показателей качества (с акцентом на надежность как подсистему)

На этом этапе создается система управления показателями качества в соответствии с современными подходами и требованиями ГОСТ Р 27.102—2021.

Интеграция требований к надежности в общее дерево показателей качества. Показатели надежности (вероятность безотказной работы, наработка на отказ, коэффициент готовности и др.) не рассматриваются изолированно, а входят в иерархическую структуру показателей качества наряду с показателями безопасности, ремонтопригодности, энергоэффективности, точности, экологичности и др. Для каждого из них задаются целевые значения, весовые коэффициенты и пороговые уровни. Такой подход позволяет:

– учитывать взаимное влияние различных характеристик качества (например, повышение точности может снижать надежность из-за увеличения механических нагрузок);

– проводить многокритериальную оптимизацию в рамках единой целевой функции J;

– формировать сбалансированные стратегии управления качеством.

Шаг 4.1. Формирование системы показателей качества (дерево показателей с измеримыми целями)

Разрабатывается **дерево показателей качества**, включающее три уровня (система – подсистемы – компоненты) и охватывающее следующие группы показателей:

– **Группа A – надежность:**

– для системы в целом: наработка на отказ $T_0 \geqslant T_0^{target}$ (например, 10 000 ч); коэффициент готовности $K_г \geqslant 0{,}995$;

– для подсистем: вероятность безотказной работы за ресурс $P(t_{рес}) \geqslant 0{,}98$;

– для компонентов: средняя наработка до отказа $T_{ср} \geqslant 5000$ ч.

– **Группа B – безопасность:**

– вероятность инцидента на 10^6 часов наработки $\leqslant 10^{-6}$;

– время срабатывания защитной автоматики $\leqslant 0{,}1$ с.

– **Группа C – ремонтопригодность:**

– среднее время восстановления $T_в \leqslant 2$ ч;

– коэффициент оперативной готовности $K_{ог} \geqslant 0{,}99$.

– **Группа D – энергоэффективность:**

– коэффициент полезного действия $\geqslant 0{,}92$.

– **Группа E – точность (для позиционирования, регулирования):**

– отклонение от заданного положения $\leqslant 0{,}1$ мм;

– время выхода на режим $\leqslant 5$ с.

– **Группа F – экологичность:**

– уровень выбросов $\leqslant$ норматив ПДК;

– уровень шума $\leqslant 75$ дБ.

Для каждого показателя устанавливаются:

– измеримая цель (например, $T_0 \geqslant 10\,000$ ч);

– допустимый диапазон (зеленая/желтая/красная зоны);

– вес α_k в целевой функции J;

– периодичность контроля (непрерывно, смена, полет, месяц).

Шаг 4.2. Оценка и расчет показателей качества на основе данных цифрового двойника

Фактические значения показателей получаем непосредственно из телеметрии и журналов событий, а прогнозные — из предиктивных моделей. Для статистической обработки отказов и восстановлений используются стандартные методы (распределение Вейбулла, экспоненциальное), но с учетом цензурированных данных — ведь многие изделия продолжают работать. Цифровой двойник автоматически обновляет оценки, например текущую наработку на отказ, коэффициент готовности и среднее время восстановления. Кроме того, рассчитываются доверительные интервалы для прогнозов, чтобы инженер видел не только точечную оценку, но и возможный разброс. В итоге получаем актуальный «срез» качества для каждого экземпляра и для парка в целом.

Шаг 4.3. Мониторинг и контроль показателей качества в реальном времени

Все рассчитанные показатели выводятся на интерактивные панели управления (дашборды), где можно отслеживать тренды, сравнивать с нормативами и видеть цветовую индикацию отклонений. Система автоматически регистрирует каждое событие отказа, восстановления, замены узла, а также изменения режимов работы. Если какой-либо показатель выходит за желтую зону, генерируется предупредительное сообщение; если за красную — формируется аварийный сигнал с рекомендацией по немедленной остановке или снижению нагрузки. Параллельно запускается алгоритм поиска корневых причин: он сопоставляет временные ряды разных параметров и ищет корреляции, указывающие на наиболее вероятный источник проблемы. Это помогает диагностировать неисправность быстрее и точнее.

Шаг 4.4. Управление на основе показателей качества

Полученные оценки служат базой для принятия решений. Если, например, коэффициент готовности снижается из-за частых отказов конкретного типа, пересматривается стратегия ТОиР для данного узла (увеличиваем частоту диагностики, меняем смазку или планируем замену на модернизированную версию). Все корректирующие действия фиксируются, и через некоторое время проводится повторный анализ: удалось ли достичь целевых значений? Если да — опыт тиражируется на другие аналогичные объекты; если нет — цикл повторяется. Такой подход обеспечивает постоянное улучшение, причем каждое изменение оценивается по экономическому эффекту (сокращение простоев, экономия ЗИП, снижение затрат на ремонт), что позволяет ранжировать мероприятия по эффективности.

Интеграция с предыдущими этапами:

– Данные для расчета показателей поступают из системы мониторинга (этап 2).

– Показатели качества используются как целевые ориентиры при валидации моделей (этап 2.4).

– Результаты анализа показателей влияют на планирование ТОиР (этап 3.1).

– Тенденции изменения показателей направляются для обратной связи на проектирование (этап 3.3).

III. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДЛАГАЕМОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ И ТРАДИЦИОННОГО ПОДХОДА

Сравнение характеристик предлагаемой методики с традиционной системой управления качеством (СУК), построенной на планово-предупредительных ремонтах и статистическом контроле, приведено в таблице.

Основные преимущества предлагаемой методики:

1. **Переход от реактивного к предиктивному управлению качеством.** Традиционная система констатирует отказы постфактум; новая – прогнозирует их.

2. **Индивидуализация управления качеством** для каждого изделия с учетом реальных условий эксплуатации.

3. **Замкнутый цикл управления качеством** с непрерывной обратной связью в проектирование.

4. **Повышение точности оценки показателей качества** за счет больших данных и непрерывного мониторинга.

5. **Снижение затрат** (ТОиР, логистика, простои) на 15–30%, по данным пилотных проектов [1].

6. **Постоянная валидация моделей** по реальным данным, что повышает достоверность решений.

Ограничения:

– Высокие начальные инвестиции в датчики, ПО, инфраструктуру данных и кадры [9].

– Сложность интеграции с унаследованными системами [3].

– Проблемы кибербезопасности киберфизических систем [4].

– Дефицит специалистов с компетенциями в предметной области и Data Science [10].

– Риск ложных срабатываний на начальном этапе (малая статистика отказов) [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика организации системы управления качеством с использованием цифровых двойников представляет собой целостный подход, обеспечивающий сквозное управление качеством (включая надежность как ключевую подсистему) на всех стадиях жизненного цикла. Четырехэтапная методика охватывает полный цикл: от формирования цифрового двойника до управления качеством на основе контролируемых показателей с обратной связью.

Интеграция показателей надежности с другими характеристиками качества в едином дереве показателей позволяет перейти от планово-предупредительного обслуживания к управлению по фактическому состоянию с элементами автоматической адаптации режимов работы. Дальнейшие исследования должны быть направлены на развитие самообучающихся алгоритмов прогнозирования, стандартизацию протоколов обмена данными и создание отраслевых библиотек цифровых моделей для управления качеством.

Сравнение характеристик традиционной и предлагаемой систем управления качеством

Характеристика	Традиционная СУК (реактивная)	Предлагаемая СУК на основе ЦД (проактивная)
Основа управления	Статистика отказов по парку, регламенты	Текущее состояние + прогноз RUL каждого изделия
Планирование ТОиР	По наработке (календарю)	По фактическому состоянию (индивидуально)
Точность прогноза отказов	Низкая (констатация факта)	Высокая (предупреждение события)
Управление запасами	Страховые запасы «на всякий случай»	Предиктивная логистика «точно вовремя»
Обратная связь в проектирование	Дискретная, замедленная	Непрерывная, в реальном времени
Начальные затраты	Относительно низкие	Высокие (датчики, ПО, кадры)
Гибкость и адаптивность	Низкая (жесткие регламенты)	Высокая (адаптация к изменениям)

Список литературы

1. Тихонов А.И. Надежность технических систем: современные методы оценки и прогнозирования. – М.: Машиностроение, 2018. – 356 с.
2. Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Управление качеством: прошлое, настоящее, будущее. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2019. – 320 с.
3. Гелиг А.Х., Горовой В.П. Цифровые двойники в машиностроении: от концепции к внедрению // Автоматизация и современные технологии. – 2020. – № 5. – С. 12–18.
4. Шаталов М.А., Козлов В.Е. Цифровые двойники и киберфизические системы: монография. – СПб.: Профессия, 2022. – 298 с.
5. Иванов Д.А., Петров С.К. Управление жизненным циклом сложных технических систем на основе технологий цифровых двойников // Информационные технологии. – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 45–53.
6. Соколов А.Н. Предиктивная аналитика и машинное обучение для задач технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования // Датчики и системы. – 2019. – № 8. – С. 22–29.
7. Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A.Y.C. Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment // CIRP Annals. – 2018. – Vol. 67. – P. 169–172.
8. Рогов В.Ю., Иванова А.С. Цифровые двойники изделий: от концепции к практической реализации // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – № 3. – С. 15–23.
9. Репина И.Б., Самойлова С.М., Сидорова Н.Г., Чуднова О.А., Сидоров Д.Е. Разработка дорожной карты проекта внедрения цифровых двойников в производственные процессы // Креативная экономика. – 2024. – Том 18. – № 10. – С. 2779–2800.
10. Абрамов В.И., Гордеев В.В., Столяров А.Д. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Том 14. – № 3. – С. 691–716.
11. Окрепилов В.В. Управление качеством и цифровая трансформация экономики // Вестник качества. – 2021. – № 2. – С. 4–11.
12. Пономарев С.В., Мищенко С.В. Интегрированные системы менеджмента качества на основе цифровых платформ // Методы менеджмента качества. – 2020. – № 5. – С. 24–30.

References

1. Tikhonov A.I. Reliability of Technical Systems: Modern Methods of Assessment and Forecasting. Moscow: Mashinostroenie, 2018. 356 p.
2. Adler Yu.P., Shper V.L. Quality Management: Past, Present, Future. Moscow: RIA «Standards and Quality», 2019. 320 p.
3. Gelig A.Kh., Gorovoy V.P. Digital Twins in Mechanical Engineering: From Concept to Implementation // Automation and Modern Technologies. 2020. No. 5. pp. 12–18.
4. Shatalov M.A., Kozlov V.E. Digital Twins and Cyber-Physical Systems: Monograph. St. Petersburg: Profession, 2022. 298 p.
5. Ivanov D.A., Petrov S.K. Life Cycle Management of Complex Technical Systems Based on Digital Twin Technologies // Information Technologies. – 2021. – Vol. 27, No. 3. – Pp. 45-53.
6. Sokolov A.N. Predictive Analytics and Machine Learning for Industrial Equipment Maintenance and Repair Tasks // Sensors and Systems. – 2019. – No. 8. – Pp. 22-29.
7. Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A.Y.C. Digital Twin Driven Prognostics and Health Management for Complex Equipment // CIRP Annals. – 2018. – Vol. 67. – Pp. 169-172.
8. Rogov V.Yu., Ivanova A.S. Digital twins of products: from concept to practical implementation // Information technologies in design and production. – 2022. – No. 3. – P. 15-23.
9. Repina I.B., Samoilova S.M., Sidorova N.G., Chudnova O.A., Sidorov D.E. Developing a roadmap for the project of implementing digital twins in production processes // Creative Economy. – 2024. – Vol. 18. – No. 10. – P. 2779-2800.
10. Abramov V.I., Gordeev V.V., Stolyarov A.D. Digital twins: characteristics, typology, development practices // Issues of innovative economics. – 2024. – Vol. 14. – No. 3. – P. 691–716.
11. Okrepilov V.V. Quality Management and Digital Transformation of the Economy // Quality Bulletin. – 2021. – No. 2. – P. 4–11.
12. Ponomarev S.V., Mishchenko S.V. Integrated Quality Management Systems Based on Digital Platforms // Quality Management Methods. – 2020. – No. 5. – P. 24–30.

УДК 006.72 : 004.9

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕКСТУРЫ*

DIGITALIZATION OF STANDARDIZATION OF FUNCTIONAL SURFACE CONTROL BASED ON KEY TEXTURE PARAMETERS

Назаров Д.В., канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Самарский федеральный исследовательский центр РАН; доцент, ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет (Самара, Россия)

Nazarov D.V., Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; Associate Professor, Samara State Technical University (Samara, Russia)

Статья посвящена актуальной проблеме цифровизации стандартизации и технического регулирования в части управления качеством функциональных поверхностей. В рамках информационных аспектов рассматривается переход от универсальных параметров шероховатости к системе ключевых параметров текстуры (КПТ), которые могут быть непосредственно считаны и обработаны информационной системой без участия человека. Показано, что традиционные параметры не обеспечивают однозначной цифровой интерпретации, что создает барьеры для автоматизированного обмена данными между предприятиями. В экономическом аспекте обосновано, что внедрение КПТ и межотраслевой цифровой платформы позволяет снизить издержки на согласования между предприятиями на 30–35%, сократить долю рекламаций на 10–15%, а также уменьшить временны́е затраты на приемочный контроль и сертификацию. Предложены принципы включения КПТ в отраслевые технические регламенты как обязательных цифровых параметров. Разработана концепция цифровой платформы для обмена данными и лучшими практиками, обеспечивающая информационную среду для реализации «умных стандартов». Результаты имеют практическую значимость для станкоинструментальной промышленности и могут быть распространены на другие отрасли машиностроения.

Ключевые слова: цифровизация стандартизации, функциональные поверхности, ключевые параметры текстуры, отраслевые технические регламенты, межотраслевая цифровая платформа.

Для цитирования: Назаров Д.В. Цифровизация стандартизации контроля функциональных поверхностей на основе ключевых параметров текстуры // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 42–46.

The article addresses the urgent problem of digital standardization and technical regulation in the field of functional surface quality control. Regarding information aspects, it considers the transition from universal roughness parameters (Ra, Rz) to a system of key controlled texture parameters (KCTP) that can be directly read and processed by an information system without human intervention. It is shown that traditional parameters do not provide unambiguous digital interpretation, creating barriers to automated data exchange between enterprises. Regarding economic aspects, the article demonstrates that implementing KCTP and a cross-industry digital platform reduces quality control transaction costs by 30–35%, cuts the share of complaints by 10–15%, and decreases time spent on incoming inspection and certification. The authors propose principles for including KCTP in industry technical regulations as mandatory machine-readable metrics. A concept of a digital platform for data exchange and best practices is developed, providing an information environment for "smart standards". The results have practical significance for the machine-tool industry and can be scaled to other engineering sectors.

Keywords: digitalization of standardization, functional surfaces, key controlled texture parameters, industry technical regulations, cross-industry digital platform.

For citation: Nazarov D.V. Digitalization of standardization of functional surface control based on key texture parameters. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026; 4(91): 42–46. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация промышленности предъявляет новые требования к системам стандартизации и технического регулирования. В последние годы активно развиваются подходы, связанные с применением искусственного интеллекта в наукоемком машиностроении [1], созданием цифровых двойников технологических процессов массовых производств [2], а также внедрением цифровых технологий в управление качеством [3]. Эти исследования охватывают стадии жизненного цикла изделия от проектирования до технического обслуживания, однако они практически не затрагивают конкретную область контроля качества функциональных поверхностей, непосредственно определяющих работоспособность узлов трения, уплотнений, направляющих и измерительных элементов.

* Работа выполнена сотрудниками лаборатории «Инженерии поверхности» в рамках государственного задания Минобрнауки России для СамНЦ РАН по теме № FMRW-2025-0052.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

Действующая нормативная база (ГОСТы, ISO) в области контроля шероховатости базируется на универсальных параметрах *Ra, Rz, Rmax*[1], которые:

- не имеют однозначной функциональной связи с износостойкостью, контактной жесткостью или маслоудержанием;
- не могут быть корректно считаны и интерпретированы информационной системой без участия человека (требуют визуального контроля или ручного ввода);
- не поддерживают автоматическое принятие решений о годности/браке в цифровом контуре.

Цель настоящей статьи – обоснование перехода от универсальных параметров шероховатости к системе функциональнообоснованных ключевых параметров текстуры (КПТ), а также разработка предложений по развитию нормативной и методической базы стандартизации в этой области. В качестве стратегической перспективы рассматривается создание межотраслевой цифровой платформы для обмена данными и лучшими практиками между предприятиями. Статья опирается на исследования автора в области управления качеством функциональных поверхностей.

Параметры *Ra, Rz* и *Rmax* были разработаны в 70-х годах XX века для контроля с помощью игольчатых профилометров и имеют фундаментальные недостатки с точки зрения цифрового управления качеством:

1. Для одной и той же пары «поверхность – функция» разные значения *Ra* могут давать одинаковую износостойкость, и наоборот, одинаковое *Ra* может соответствовать разной эксплуатационной надёжности [4,5].

2. *Ra* – это один скаляр, который не позволяет восстановить трехмерную топографию. Информационная система, получив значение *Ra* не может автоматически определить, достаточен ли объем впадин для удержания смазки или нет ли опасных пиков.

3. Выбор длины оценки, порога фильтрации и типа иглы часто остается на усмотрение оператора. Это делает результаты плохо воспроизводимыми при автоматическом обмене данными между предприятиями.

Экономические потери от использования *Ra*/*Rz* в цифровом производстве выражаются в наличии дефектов из-за несоответствия реальной функциональности (шероховатость по *Ra* обеспечена, но происходит отказ при эксплуатации), дополнительных ручных проверках и невозможности построения полноценного цифрового двойника узла.

Ключевой параметр текстуры – это машиночитаемый показатель, определенный на основе трехмерной топографии поверхности и непосредственно коррелирующий с заданной функцией поверхности (износостойкость, контактная жесткость, удержание смазки, оптическое отражение и т.д.). КПТ должны удовлетворять следующим требованиям:

- **функциональная обоснованность** (вывод из физической модели или статистически значимой корреляции);
- **однозначность цифрового представления** (формат XML/JSON, фиксированный алгоритм расчета);
- **автоматическая верифицируемость** (ИС может вычислить КПТ по облаку точек и сравнить с допуском без участия человека).

В отличие от параметров, описанных в ГОСТ Р ИСО 25178-2–2014[2], КПТ не являются универсальными для всех поверхностей. Для каждой функциональной группы выбирается свой набор КПТ. На основе анализа литературных данных [4–7], а также работы по топологическим параметрам текстуры [8] и собственных экспериментов автора предлагается классификация КПТ по функциональным классам (табл. 1).

Таблица 1

Соответствие КПТ функциональным классам поверхностей

Функция поверхности	Критический вид отказа	Рекомендуемый КПТ (по ГОСТ Р ИСО 25178-2–2014)	Тип данных для цифрового обмена
Направляющая скольжения	Задир, потеря точности	Smr1 (коэффициент смятия)	Числовой (проценты)
Уплотнительная поверхность	Утечка рабочей среды	Vvc (объем пустот ядра поверхности ограниченного масштаба)	Числовой (объем на площадь)
Подшипник качения	Усталостное выкрашивание	Spk (сниженная высота пика)	Числовой (микрометры)
Оптическая поверхность	Рассеяние света	Sal (длина автокорреляции/пространственный период)	Числовой (микрометры)

Примечание к табл. 1: параметр Smr1 характеризует долю материала в выступающих пиках поверхности и отражает ее несущую способность; Vvc – важен для удержания смазки; Spk – влияет на износ; Sal –горизонтальная периодичность текстуры, определяющая рассеяние света.

Более детально методика функционального обоснования выбора КПТ изложена в работе [6], где показано, что для каждой группы поверхностей набор параметров текстуры

[1] ГОСТ 2789–73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Стандартинформ, 2018.

[2] ГОСТ Р ИСО 25178-2–2014 Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Ареал. Часть 2. Термины, определения и параметры структуры поверхности. М.: Стандартинформ, 2015.

должен определяться на основе анализа условий контактного взаимодействия и критериев работоспособности.

Для внедрения КПТ в отраслевые технические регламенты предлагается следующая пошаговая методика (рис. 1).

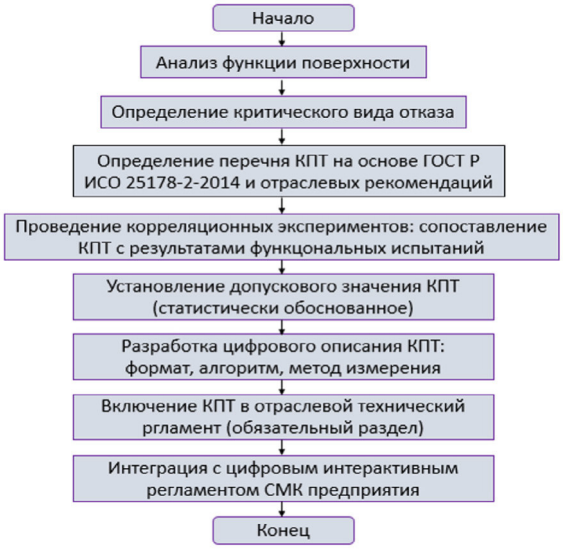
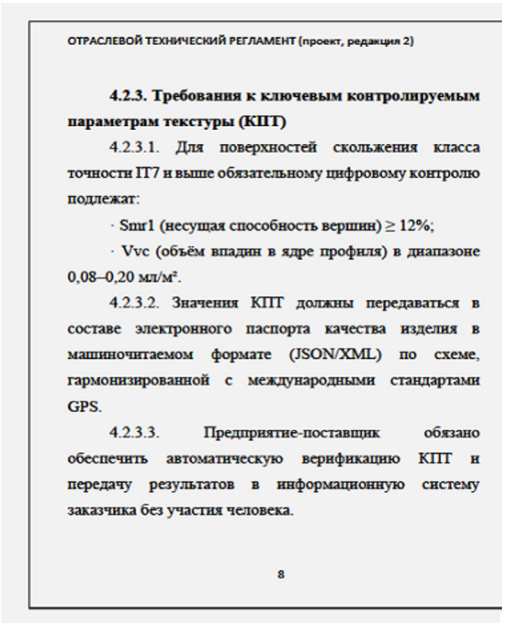


Рис. 1. Блок-схема логики перехода от универсальных параметров к системе КПТ

На рис. 2 приведен пример оформления раздела отраслевого технического регламента с требованиями к КПТ. Такой формат представления обеспечивает однозначную интерпретацию и машиночитаемость.

Цифровой регламент системы менеджмента качества (СМК) представляет собой машиночитаемый документ, который


ОТРАСЛЕВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ (проект, редакция 2)

4.2.3. Требования к ключевым контролируемым параметрам текстуры (КПТ)

4.2.3.1. Для поверхностей скольжения класса точности IT7 и выше обязательному цифровому контролю подлежат:

· Smr1 (несущая способность вершин) ≥ 12%;

· Vvc (объём впадин в ядре профиля) в диапазоне 0,08–0,20 мл/м².

4.2.3.2. Значения КПТ должны передаваться в составе электронного паспорта качества изделия в машиночитаемом формате (JSON/XML) по схеме, гармонизированной с международными стандартами GPS.

4.2.3.3. Предприятие-поставщик обязано обеспечить автоматическую верификацию КПТ и передачу результатов в информационную систему заказчика без участия человека.

8

Рис. 2. Фрагмент отраслевого технического регламента (требования к КПТ)

информационная система выполняет автоматически. Ниже приведен пример такого регламента для операции входного контроля направляющей скольжения (табл. 2).

Таблица 2

Фрагмент цифрового интерактивного регламента СМК

Поле регламента	Содержание (машиночитаемое)
Идентификатор операции	OP-4210_Control_Slide
Контролируемая поверхность	Направляющая скольжения, материал и термообработка по чертежу
Ключевой контролируемый параметр	Smr1
Допусковое значение	⩾ 12%
Ссылка на метод расчета	ГОСТ Р 25178-2–2014 (цифровой алгоритм)
Формат передачи данных	JSON (поля: KPT_code, value, unit, verdict)
Автоматическое действие при несоответствии	Блокировка партии, уведомление в СМК

Примечание к табл. 2: формат JSON (JavaScript Object Notation) – стандартизованный текстовый способ представления структурированных данных, обеспечивающий их автоматическую обработку без участия человека. В данном примере поля означают: KPT_code – обозначение контролируемого параметра текстуры, value – числовое значение, unit – единица измерения, verdict – заключение о соответствии (pass /годен, fail /брак).

Такой регламент обеспечивает реализацию принципа «умных стандартов» (концепция SMART-стандартов изложена в работе [9]): информационная система самостоятельно инициирует измерение, вычисляет КПТ, сравнивает с допустимым значением, принимает решение и передает данные в корпоративную СМК.

Стратегическим направлением развития предлагаемой концепции является создание межотраслевой цифровой платформы (МЦП) для обмена данными о КПТ и лучшими практиками. Архитектура платформы показана на рис. 3.

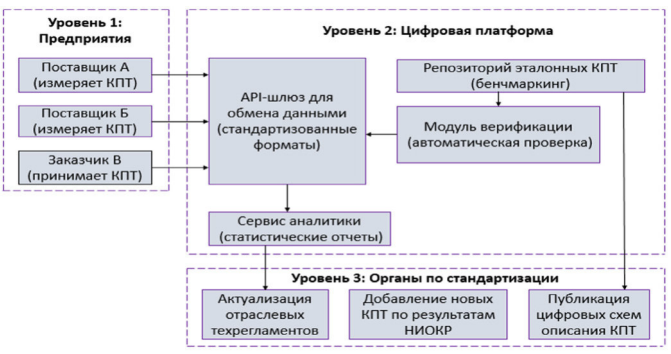


Рис. 3. Блок-схема архитектуры межотраслевой цифровой платформы КПТ

Предлагаемая платформа позволяет поставщикам загружать эталонные значения КПТ для своих типовых деталей; заказчикам автоматически сверять входящий контроль с эталоном; органам по стандартизации анализировать накопленные данные для пересмотра допусков.

Переход на КПТ и создание межотраслевой цифровой платформы дает следующие экономические эффекты (табл. 3).

Таблица 3

Ожидаемый экономический эффект от внедрения платформы и КПТ

Показатель	Традиционный подход (Ra/Rz)	При использовании КПТ и платформы	Экономия
Время входного контроля на одну деталь (чел.-часы)	0,5 (с учтом ручных измерений и интерпретации)	0,15 (автоматически, без оператора)	70%
Доля рекламаций из-за неоднозначности шероховатости	8–12%	1–2%	Снижение на 10 п.п.
Затраты на дополнительные измерения в независимых аккредитованных лабораториях (в год)	1–1,5 млн руб.	0,2–0,3 млн руб. (автоматическая верификация через платформу)	80%
Время вывода новой детали на сертификацию	3–4 месяца	1–1,5 месяца (за счет эталонных КПТ)	60–70%

Расчетный годовой экономический эффект для среднего машиностроительного предприятия (с номенклатурой 500 деталей с функциональными поверхностями) составляет:

— снижение затрат на контроль качества 1,2–1,8 млн руб./год;

— сокращение потерь от брака и рекламаций 0,8–1,2 млн руб./год;

— ускорение сертификации (снижение косвенных потерь) 0,5–0,7 млн руб./год.

Итого: 2,5–3,7 млн руб./год на одно предприятие. При внедрении в масштабе отрасли экономический эффект может составить до 100 млн руб./год без учета снижения рисков в виде простоев оборудования.

Таким образом, внедрение КПТ и цифровой платформы не только решает информационные задачи стандартизации (машиночитаемость, автоматический обмен), но и дает измеримый экономический результат, что соответствует основным целям технического регулирования.

Предложенный подход был апробирован при контроле качества манжетных уплотнений, описанном в [7]. В ходе исследования установлено, что традиционный контроль по Ra не выявлял брак, однако при стендовых испытаниях 15% уплотнений демонстрировали утечки рабочей среды. Анализ трехмерной топографии показал, что критическим фактором является недостаточный объем впадин Vvc для удержания смазки. После введения КПТ Vvc с установленным допуском доля дефектных изделий снизилась до 1,5%.

Экономические результаты апробации:

— сокращение времени приемочного контроля на 35% (с 0,45 до 0,29 чел.-часов на партию);

— исключение субъективных разногласий между поставщиком и заказчиком (отсутствие арбитражных измерений в независимых аккредитованных лабораториях за 6 месяцев);

— снижение затрат на гарантийный ремонт изделий с манжетными уплотнениями на 22%.

На основе этих результатов разработан цифровой интерактивный регламент СМК (аналогичный табл. 2), который передан для опытной эксплуатации на два предприятия-партнера.

На основе проведенного анализа и практического опыта сформулированы следующие предложения:

1. Разработать новый комплекс стандартов (или серию поправок к существующим) под условным названием «Цифровое представление ключевых параметров текстуры для автоматизированного управления качеством». Стандарты должны включать: общие требования к машиночитаемому описанию КПТ (XML/JSON схема), методики выбора КПТ для основных функциональных классов поверхностей, а также требования к калибровке и верификации измерений КПТ.

2. Внести изменения в отраслевые технические регламенты (например, для станкоинструментальной промышленности), дополнив разделы контроля поверхностей обязательным перечнем КПТ для цифрового обмена.

3. Провести серию НИОКР по установлению допусков на КПТ для критических деталей металлорежущих станков (направляющие, шпиндели, уплотнения) на основе статистического анализа отраслевых данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье обоснована необходимость перехода от универсальных параметров шероховатости (*Ra, Rz*) к системе функционально обоснованных ключевых параметров текстуры (КПТ) как необходимого условия для реализации «умных стандартов» в цифровом производстве. Предложены классификация КПТ, методика выбора, форматы включе-

ния в траслевые технические регламенты и примеры цифровых интерактивных регламентов СМК. Разработана концепция межотраслевой цифровой платформы для обмена данными и лучшими практиками, включая количественную оценку экономического эффекта (2,5–3,7 млн руб./год на одно предприятие). Практическая апробация на примере манжетных уплотнений подтвердила снижение дефектности с 15% до 1,5% и сокращение времени контроля на 35%.

Перспективным направлением дальнейших исследований является создание самообучаемых КПТ на основе машинного обучения: нейросетевая модель будет автоматически выделять наиболее информативные текстурные признаки для заданной функции поверхности и предлагать оптимальные интервалы их значений.

***Рецензент: Бурый Алексей Сергеевич,** доктор технических наук, заместитель начальника научного отдела ФГБУ «Институт стандартизации», Москва, Российская Федерация. E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru*

Список литературы

1. Будкин Ю.В., Анисимов Н.Р. Направления использования искусственного интеллекта в наукоемком машиностроении // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4(79). С. 9–17. – EDN KIXATC.
2. Пантюхин О.В., Васин С.А. Цифровой двойник технологического процесса изготовления изделий специального назначения // Станкоинструмент. 2021. № 1(22). С. 56–59. https://doi.org/10.22184/2499-9407.2021.22.1.56.58. – EDN AHLHJO.
3. Васин С.А., Пантюхин О.В. Цифровые технологии в управлении качеством // Качество. Инновации. Образование. 2021. № 1(171). С. 22–27. https://doi.org/10.31145/1999-513x-2021-1-22-27. – EDN GSNTMB.
4. Thomas T.R. Rough surfaces. – 2nd ed. London: Imperial College Press, 1999. – 278 p.
5. Whitehouse D.J. Handbook of Surface and Nanometrology. – 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. – 975 p.
6. Назаров Д.В. Специфика формирования требований к параметрам текстуры поверхностей по функциональному назначению // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2025. № 12. С. 267–274. – https://doi.org/10.24412/2071-6168-2025-12-267-268. – EDN: VQEBEZ.
7. Мельников П.А., Чернякин С.В., Назаров Д.В. Микрорельеф поверхности как фактор работоспособности манжетных уплотнений и способы его формирования в процессах финишной обработки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2025. Т. 27, № 5(127). С. 172–180. https://doi.org/10.37313/1990-5378-2025-27-5-172-180. – EDN: PNXLZG.
8. Топологические параметры текстуры функциональных поверхностей / В.Н. Крутиков, С.Ю. Золотаревский, В.Г. Лысенко, В.Л. Ласковский // Метрология. 2013. № 2. С. 25–32. – EDN PVHTTX.
9. Унгурян Е. Умные (SMART) стандарты // Стандарты и качество. 2021. № 12. С. 26–28. – EDN ZQUINF.

References

1. Budkin, Yu.V., Anisimov, N.R. Napravleniya ispol'zovaniya iskusstvennogo intellekta v naukoemkom mashinostroenii [Directions of Artificial Intelligence Use in High-Tech Mechanical Engineering]. Informatsionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2024, no. 4(79), pp. 9–17.
2. Pantyukhin, O.V., Vasin, S.A. Tsifrovoy dvoynik tekhnologicheskogo protsessa izgotovleniya izdeliy spetsial'nogo naznacheniya [Digital Twin of the Technological Process for Manufacturing Special-Purpose Products]. Stankoinstrument. 2021, no. 1(22), pp. 56–59.
3. Vasin, S.A., Pantyukhin, O.V. Tsifrovye tekhnologii v upravlenii kachestvom [Digital Technologies in Quality Management]. Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie. 2021, no. 1(171), pp. 22–27.
4. Thomas, T.R. Rough surfaces. – 2nd ed. London: Imperial College Press, 1999, 278 p.
5. Whitehouse D.J. Handbook of Surface and Nanometrology. – 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011, 975 p.
6. Nazarov D.V. Spetsifika formirovaniya trebovaniy k parametram tekstury poverkhnostey po funktsional'nomu naznacheniyu [Specifics of Formulating Requirements for Surface Texture Parameters by Functional Purpose]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2025, no. 12, pp. 267–274.
7. Mel'nikov P.A., Chernyakin S.V., Nazarov D.V. Mikrorel'ef poverkhnosti kak faktor rabotosposobnosti manzhetnykh uplotneniy i sposoby ego formirovaniya v protsessakh finishnoy obrabotki [Surface Microrelief as a Factor of Cuff Seal Performance and Methods of Its Formation in Finishing Processes]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2025, vol. 27, no. 5(127), pp. 172–180.
8. Krutikov V.N., Zolotarevskiy S.Yu., et al. Topologicheskie parametry tekstury funktsional'nykh poverkhnostey [Topological Parameters of Functional Surface Texture]. Metrologiya. 2013, no. 2, pp. 25–32.
9. Unguryan E. Umnye (SMART) standarty [Smart (SMART) Standards]. Standarty i kachestvo. 2021, no. 12, pp. 26–28.

УДК 332.1

ЦИФРОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ПОДХОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ВНЕДРЕНИЯ

DIGITAL QUALITY CONTROL IN CONSTRUCTION: APPROACHES AND IMPLEMENTATION TOOLS

Пелешок А. А., аспирант, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский центр информатизации Министерства иностранных дел Российской Федерации» (Москва, Россия)

Peleshok A.A., Postgraduate Student, Federal State Budgetary Institution «Research Center for Informatization of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation» (Moscow, Russia)

В условиях цифровизации строительной отрасли контроль качества приобретает новое содержание, переходя от традиционного инспекционного подхода к интеграции цифровых решений, основанных на данных. В статье рассматриваются современные подходы к цифровому контролю качества в строительстве, включая использование BIM-технологий, нейросетей, дронов, цифровых двойников и блокчейна. Цель исследования – обосновать значимость цифрового контроля качества в строительстве, классифицировать ключевые цифровые инструменты и обозначить пути их эффективного внедрения в российских условиях. Описаны ключевые инструменты, применяемые на этапах проектирования, строительства и эксплуатации объектов. Особое внимание уделено вопросам нормативного обеспечения, экономической эффективности и проблемам внедрения. На основе анализа практических кейсов предложены рекомендации по поэтапному переходу к цифровой системе управления качеством.

Ключевые слова: цифровизация, контроль качества, строительство, BIM, цифровой двойник, блокчейн, автоматизация.

Для цитирования: Пелешок А.А. Цифровой контроль качества в строительстве: подходы и инструменты внедрения // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 47–51.

In the context of digital transformation of the construction industry, quality control is shifting from traditional inspection-based approaches to data-driven digital solutions. This paper explores current approaches to digital quality control in construction, including the use of BIM technologies, neural networks, drones, digital twins, and blockchain. The purpose of the study is to substantiate the importance of digital quality control in construction, classify key digital tools and identify ways to effectively implement them in Russian conditions. It outlines the key tools used at the design, construction, and operation stages. Special attention is given to regulatory support, economic efficiency, and implementation challenges. Based on case studies, recommendations for a phased transition to a digital quality management system are proposed.

Keywords: digitalization, quality control, construction, BIM, digital twin, blockchain, automation.

For citation: Peleshok A.A. Digital quality control in construction: approaches and implementation tools. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026; 4(91): 47–51. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Современное строительство сталкивается с растущими требованиями к качеству, безопасности и скорости реализации проектов. На этом фоне цифровой контроль качества становится не просто вспомогательной функцией, а ключевым элементом стратегического управления строительным процессом.

Традиционные методы контроля, основанные на выборочных проверках и бумажной документации, уже не соответствуют требованиям современной отрасли. Ошибки, допущенные на ранних этапах, часто обнаруживаются слишком поздно, что приводит к дорогостоящей переделке. Цифровой контроль качества, напротив, позволяет интегрировать инструменты предиктивной аналитики и непрерывного мониторинга, снижая риски и повышая управляемость.

Цель статьи – обосновать значимость цифрового контроля качества в строительстве, классифицировать ключевые цифровые инструменты и обозначить пути их эффективного внедрения в российских условиях.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

Методы исследования: системный анализ, кейс-метод, нормативный анализ, экспертная оценка. Цифровой контроль качества представляет собой систему управления, основанную на использовании цифровых технологий для обеспечения соответствия всех этапов строительства установленным нормам, стандартам и проектным параметрам.

Основные принципы цифрового контроля включают:

– сбор и анализ данных в режиме реального времени;

– минимизацию человеческого фактора;

– автоматическое выявление и документирование отклонений;

– сквозную прослеживаемость всех операций.

Ключевыми концепциями цифровизации контроля являются [1]:

1. Информационное моделирование зданий (BIM[1]) – цифровая модель объекта, объединяющая геометрию, технико-экономические параметры и технологические процессы;
2. Цифровой двойник – динамически обновляемая модель, отражающая текущее состояние объекта на основе сенсорных данных;
3. LCM (жизненный цикл объекта) – интеграция всех этапов строительства, от замысла до утилизации, в единую цифровую платформу;
4. Единая среда данных (CDE) – система хранения и управления проектной документацией с обеспечением единой версии информации для всех участников.

Таким образом, цифровой контроль качества представляет собой не просто инструмент, а новую парадигму управления в строительной отрасли.

Технология BIM обеспечивает моделирование на этапах проектирования, в том числе автоматическую проверку на коллизии, соответствие нормативам и контроль исполнения проектных решений [2]. Связка с графиками (4D), бюджетом (5D) и эксплуатационными характеристиками (6D) превращает BIM в ядро цифровой экосистемы проекта. Цифровой двойник – следующий шаг развития BIM. Он позволяет получать в режиме реального времени данные о состоянии объекта (вибрации, температура, деформации) и проводить предиктивный анализ. ИИ используется для автоматического анализа изображений и видео с камер и дронов [3]. Он способен выявлять дефекты (трещины, отклонения геометрии, нарушение укладки) с высокой точностью. Нейросети обучаются на базе исторических данных, что позволяет прогнозировать потенциальные зоны риска еще до возникновения дефектов.

Дроны с камерами высокого разрешения применяются для съемки труднодоступных участков, контроля высотных объектов, мониторинга хода строительства [4]. С применением фотограмметрии создаются 3D-модели, позволяющие сравнивать проект и фактическое исполнение.

Блокчейн обеспечивает надежное хранение информации о поставках материалов, их проверке, результатах контроля, актах скрытых работ. Это позволяет исключить подлог и заменить бумажные сертификаты на электронные, юридически значимые реестры. Примером служит использование блокчейна в ряде стран ЕС для инфраструктурных проектов. Российские строительные нормы (СП, ГОСТы) еще не в полной мере адаптированы под цифровую модель управления качеством. BIM обязателен лишь для части объектов, финансируемых из бюджета [5]. Блокчейн и цифровой двойник пока не признаны официальными инструментами в правоприменительной практике. Одной из серьезнейших проблем в реализации цифрового контроля качества в строительстве является отсутствие единой интеграционной платформы, объединяющей все этапы жизненного цикла объекта. В настоящее время на рынке используются десятки различных программных продуктов, зачастую не совместимых между собой [6]:

– одни применяются для проектирования (Autodesk Revit, ArchiCAD);

– другие для управления строительством (Primavera, 1С: Проектное управление);

– третьи для документооборота и контроля качества (Aconex, Glodon, Bentley iTwin).

Появление первых стандартов по выработке требований к Единой системе информационного моделирования как системе взаимосвязанных общетехнических и организационно-методических стандартов призвано заложить основы для формирования и ведения информационных моделей для целей градостроительной деятельности (см. ГОСТ Р 10.00.00.00–2023)[2].

В Москве в качестве реального шага к созданию единой цифровой среды активно внедряется и используется электронная платформа EXON. Данная платформа выходит за рамки электронного документооборота и позиционируется как централизованная экосистема, объединяющая всех участников инвестиционно-строительного процесса: заказчиков, проектировщиков, подрядчиков, надзорные органы и будущие эксплуатирующие организации.

Технологии Интернета Вещей (IoT) открывают новые горизонты в обеспечении качества на стройплощадке. Благодаря размещению датчиков и сенсоров на ключевых элементах объекта можно в реальном времени отслеживать:

– влажность и температуру бетона в период набора прочности;

– вибрации конструкций при монтаже и испытаниях;

– параметры окружающей среды (влажность, давление, скорость ветра) при проведении фасадных работ;

– перемещения и нагрузки на несущие конструкции в процессе эксплуатации.

[1] От англ. BIM – Building Information Model, однако если рассматривается процесс, то в российском законодательстве используют понятие ТИМ (технология информационного моделирования) (см. ГОСТ Р 56891.2–2016).

[2] ГОСТ Р 10.00.00.00–2023 Единая система информационного моделирования. Основные положения. – М.: Российский институт стандартизации, 2023. (Введ.: 2023-07-01).

Данные с датчиков поступают в облачные хранилища, где проходят обработку и визуализацию через специализированные интерфейсы. В случае выхода параметров за пределы допустимых значений система автоматически уведомляет ответственных специалистов и фиксирует событие в цифровом журнале [2]. Таким образом, предотвращается разрушение конструкций, упрощается приемка и исключается «человеческий фактор».

Пример: внедрение IoT-мониторинга при строительстве объектов транспортной инфраструктуры в Москве (например, МЦД-3) позволило отслеживать деформации мостов и тоннелей в режиме 24/7, включая автоматическую сверку с проектными нагрузками.

Для повседневной работы инженеров строительного контроля и технического заказчика активно применяются мобильные приложения, позволяющие вести [6]:

– цифровые журналы работ;

– фотофиксацию отклонений и замечаний;

– формирование и подписание актов безбумажным способом;

– маршрутизацию обращений и задач (workflow);

– интеграцию с системами ERP, BIM и CDE.

Цифровые чек-листы позволяют стандартизировать контрольные процедуры и сократить время на осмотры. Кроме того, автоматически создается архив всех проверок с возможностью экспорта данных для экспертизы или предъявления в суде [2].

Среди популярных решений: PlanRadar, Autodesk Construction Cloud, Sablono, 1С: Управление строительством, EXON.

Преимущества цифровых приложений:

– исключение потерь данных при передаче;

– повышение скорости согласования принимаемых решений;

– прозрачность ответственности всех участников;

– формирование доказательной базы при спорах.

Такая фрагментация затрудняет обмен данными между участниками, приводит к дублированию информации и снижает эффективность. Особенно остро эта проблема проявляется при передаче данных между проектными организациями и подрядчиками. Кроме того, отсутствует единый государственный стандарт для цифрового формата исполнительной документации, что тормозит развитие электронного архива контроля качества.

Для преодоления этой проблемы необходимо:

– внедрение единой среды общих данных (CDE);

– создание национального цифрового контура в строительстве, аналогичного системам «ГосТех» или «ЕГРЗ»;

– унификация форматов на основе международных стандартов IFC (Industry Foundation Classes).

Внедрение цифрового контроля требует от подрядчиков дополнительных усилий, затрат времени и ресурсов, при этом прямых стимулов к такому переходу зачастую нет [1]. Особенно это характерно для малых и средних строительных организаций, ориентированных на выполнение краткосрочных проектов с минимальными издержками. Факторы отсутствия мотивации включают:

– отсутствие требований заказчика к цифровому контролю;

– ориентацию на минимальную цену при конкурсных процедурах, а не на качество;

– страх перед «цифровой прозрачностью», так как выявление несоответствий может повлечь штрафные санкции.

Выходом может стать трансформация системы госзакупок и технического надзора, где цифровой контроль качества будет выступать как обязательное условие участия в тендерах и как гарантия снижения рисков для заказчиков. Также возможны механизмы субсидирования внедрения цифровых решений (например, через Фонд содействия инновациям) или создание реестра аккредитованных цифровых платформ с типовыми решениями.

Большинство строительных организаций не располагают:

– специалистами, способными работать с цифровыми инструментами;

– необходимыми программными и аппаратными средствами;

– методической поддержкой по внедрению новых систем.

Внедрение цифровых решений требует начальных затрат, однако дает устойчивый эффект:

– сокращение дефектов на 25–30%;

– уменьшение времени приемки и сдачи на 10–15%;

– снижение числа судебных споров между подрядчиком и заказчиком.

Пример: при строительстве Лахта Центра (Санкт-Петербург) использование BIM и цифрового контроля позволило выявить и устранить более 1800 несоответствий еще до завершения монтажа.

Цифровой контроль качества — это не просто технологическая инновация, а стратегический инструмент повышения эффективности, надежности и прозрачности строительства. Он трансформирует не только методы контроля, но и саму логику управления проектами [1].

На сегодняшний день в российской правовой системе отсутствует прямое указание на обязательное применение цифрового контроля качества при строительстве объектов, за исключением отдельных требований к BIM-проектированию при реализации федеральных проектов. При этом:

– действующие строительные нормы (СП 48.13330.2019, СП 70.13330.2012) ориентированы на бумажную модель приемки;

– цифровые формы актов, чек-листов и исполнительной документации не имеют однозначного юридического статуса;

– электронная подпись не всегда признается при взаимодействии между частными субъектами.

Это создает ситуацию нормативного вакуума: строительные компании, даже желающие перейти на цифровой контроль, не уверены в его правовой значимости в случае претензионной работы или судебных разбирательств.

Решение данной проблемы требует [2]:

– официального признания электронных форм контроля качества и цифровой документации в Градостроительном кодексе РФ;

– включения цифрового контроля в состав обязательных требований техрегламентов и нормативов;

– создания единого реестра программных решений, признанных допустимыми для ведения строительного контроля.

Несмотря на примеры успешного внедрения цифровых технологий в Москве, Санкт-Петербурге, Казани и ряде других городов, подавляющее большинство регионов России остаются в положении цифрового отставания.

Основные причины регионального разрыва:

– отсутствие региональных программ цифровизации строительной отрасли;

– слабая телекоммуникационная инфраструктура (высокая стоимость подключения к CDE, нестабильный интернет);

– ограниченный доступ к обучающим программам и квалифицированным ИТ-кадрам.

Малые подрядчики в регионах зачастую ограничиваются минимальным уровнем автоматизации и работают преимущественно в оффлайн-среде. Это усиливает разрыв в производительности и снижает конкурентоспособность региональных компаний.

Для преодоления этих диспропорций необходимы:

– федеральные субсидии и гранты на цифровизацию строительства в регионах;

– внедрение типовых цифровых решений на уровне СРО;

– организация цифровых кластеров в рамках национальных проектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение цифрового контроля невозможно без активной позиции заказчика, особенно технического заказчика. Однако на практике именно заказчики зачастую выступают консервативной стороной, стремящейся минимизировать затраты и сроки, что противоречит логике внедрения цифровых решений, предполагающих первичные инвестиции в инфраструктуру, обучение и лицензии.

Причины пассивности заказчиков:

– неосведомленность о преимуществах цифрового контроля;

– отсутствие обязательных требований со стороны экспертизы и надзора;

– стремление ограничить ответственность путем минимизации зафиксированных отклонений.

В результате проектная документация, даже если выполнена в BIM, на стадии реализации переводится в бумажную форму, а системы цифрового мониторинга не используются.

Решение:

– включение требований цифрового контроля в состав технических заданий на строительство;

– подготовка методических рекомендаций Минстроя РФ по цифровому взаимодействию заказчиков и подрядчиков;

– обучение государственных и частных заказчиков принципам и выгодам цифрового проектного управления.

Однако в условиях России требуется:

– нормативное закрепление новых подходов;

– развитие образовательных программ для подготовки специалистов;

– финансовая и методическая поддержка пилотных проектов;

– интеграция российских решений в международную систему цифровых стандартов.

Переход к цифровому контролю качества – ключ к устойчивому развитию отрасли в XXI веке. Цифровой контроль качества становится неотъемлемой частью современного строительного процесса, обеспечивая кардинальное улучшение прозрачности, точности и оперативности контроля на всех стадиях жизненного цикла объекта.

Цифровой контроль качества способен не только повысить конкурентоспособность строительной отрасли, но и стать основой устойчивого, технологически развитого и социально ответственного строительства в Российской Федерации. Его внедрение требует политической воли, межотраслевого взаимодействия и системной государственной поддержки: только в этом случае цифровизация принесет устойчивые, воспроизводимые результаты.

Список литературы

1. Москвичев М.А. Цифровая трансформация строительных организаций // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Т. 13, № 3А. С. 294–304.
2. Матросов В.В. Применение цифровых двойников в строительстве и реконструкции промышленных объектов // Инструменты, механизмы и технологии современного. 2025. С. 58.
3. Лукиянов М.Е., Терехова О.П. Реализация информационной модели управления качеством строительства с использованием современных компьютерных технологий // Вестник науки. 2023. Т. 3, №. 6 (63). С. 1147–1158.
4. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Беспилотная система проактивного мониторинга распределенных объектов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 5(86). С. 75–82.
5. Хамидов Б.С. Современные возможности искусственного интеллекта в строительной отрасли // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Т. 13, № 3-1. С. 257–266.
6. Тихомирова С.Р. Совершенствование методов минимизации коррупционных рисков в строительной отрасли // Вестник Академии знаний. 2025. № 3 (68). С. 436–440.

References

1. Moskvichev M.A. Digital transformation of construction organizations. Economics: Yesterday, Today, Tomorrow. 2023, vol. 13, no 3A, pp. 294–304. (In Russ.).
2. Matrosov V.V. Application of digital twins in construction and reconstruction of industrial facilities // Instruments, Mechanisms and Technologies of Modern. – 2025. – P. 58. (In Russ.).
3. Lukiyanov M. E., Terekhova O. P. Implementation of an information model for construction quality management using modern computer technologies. Bulletin of Science. 2023, vol. 3, no. 6(63), pp. 1147–1158. (In Russ.).
4. Buryi A.S., Shevkunov M.A. An unmanned proactive monitoring system for distributed facilities. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2025, no. 5 (86), pp. 75–82. (In Russ.).
5. Khamidov B.S. Modern possibilities of artificial intelligence in the construction industry. Economics: Yesterday, Today, Tomorrow. 2023, vol. 13, no. 3-1, pp. 257–266. (In Russ.).
6. Tikhomirova S.R. Improving methods for minimizing corruption risks in the construction industry. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2025, no. 3(68), pp. 436–440. (In Russ.).

УДК 005.93

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКЛЮЧЕНИЯ ГОСКОНТРАКТА НА ПОСТАВКУ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ НУЖД ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА (часть 1)

OPTIMIZATION OF THE STAGES OF THE STATE CONTRACT EXECUTION FOR THE SUPPLY OF SPARE PARTS (part 1)

Гусев В.И., канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «НИИЦ ЖДВ» Минобороны России (Москва, Россия)

Малыхина И.В., соискатель ученой степени кандидата наук, ФГБУ «Институт стандартизации» (Москва, Россия)

Gusev V.I., PhD, Leading Researcher at the Research Institute of Railway Engineering of the Ministry of Defense of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Malykhina I.V., applicant for a PhD degree Russian Standardization Institute (Moscow, Russia)

Закупки запасных частей для нужд городского транспорта осуществляются в рамках Федерального закона № 44-ФЗ, который предписывает планирование закупок на следующий финансовый год и плановый период протяженностью 2 года. В сущности, речь идет о прогнозировании закупок в среднесрочной перспективе. На практике план закупок всегда отличается от реальных потребностей в бóльшую или меньшую сторону, что вызывает значительные эксплуатационные издержки. Однако закон допускает гибкий подход к планированию закупок, в связи с чем вводится понятие «отдельный этап исполнения госконтракта». Протяженность этого этапа влияет на отклонения запланированных закупок от реального спроса. Чем меньше отдельный этап, тем меньше издержки. Но, с другой стороны, с уменьшением продолжительности этапа возрастает количество отдельных этапов на протяжении календарного года и, следовательно, возрастают логистические расходы. В статье рассмотрен подход к оптимизации процесса закупки запасных частей для нужд городского транспорта.

Анализируется зависимость между интенсивностью расходования запасов и логистическими затратами со стороны Заказчика.

Научная новизна и практическая значимость заключаются в применении системного подхода к прояснению содержания сложно воспринимаемых понятий, традиционно исследуемых средствами формальной логики и смысловой выразительности русского языка. Определяется модель системы «расход – поступление». Исследуется поведение системы, позволяющее вскрыть значимость понятия для практики, не доступную аналитику при традиционном анализе нормативных текстов. Раскрывается содержание понятия «отдельный этап исполнения госконтракта», ставится и решается задача оптимизации количества отдельных этапов исполнения госконтракта.

Статья состоит из двух частей. В первой части формулируется постановка задачи оптимизации процесса исполнения госконтракта. Во второй части исследуется и решается задача оптимизации.

Ключевые слова: запасные части, отдельный этап, коэффициент технической готовности, этапы закупки, жизненный цикл.

Для цитирования: Гусев В.И., Малыхина И.В. Совершенствование процесса заключения госконтракта на поставку запасных частей для нужд городского транспорта (часть 1) // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 52–56.

The consumption of spare parts reflects another, symmetrical process – the receipt of spare parts into the warehouse. When consumption and receipt are equal, the warehouse holds a zero balance, and the vehicles serviced by the warehouse remain in operable condition. The symmetry of these processes aligns with the concept of systems striving toward an ideal. In practice, one can only speak of the system approaching the ideal of symmetry. This follows from the nature of the processes: consumption is a random process, while receipt is deterministic. Both processes unfold over time. Consumption generates a random variable of demand for spare parts; receipt generates a quantity based on a forecast of the future realization of random consumption. Under these conditions, symmetry is achieved with a certain probability, over a certain time interval, due to the uncertainty in the «consumption-receipt» relationship. This uncertainty is fundamentally irremovable; however, minimizing its impact on the warehouse state is possible. The more uncertainty is eliminated, the closer the system is to the ideal.

The scientific novelty and practical significance of this work lie in applying a systems approach to clarify the meaning of a conceptually difficult notion traditionally studied by means of formal logic and the expressive richness of the Russian language. A model of the «consumption-receipt» system is defined, and the system's behavior is examined, allowing the significance of the notion for practice to be revealed in a way not accessible through traditional analysis of legislative texts. The content of the concept «separate stage of state contract execution» is disclosed, and the task of optimizing the state contract execution process is posed and solved.

Keywords: spare parts, separate stage, technical readiness factor, procurement stages, and life cycle.

For citation: Gusev V.I., Malykhina I.V. Optimization of the stages of the state contract execution for the supply of spare parts (1 part) // Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026. 4(91): 52–56. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Существуют категории работ и услуг, объем которых не может быть установлен на момент заключения госконтракта. К ним относятся запасные части для восстановления эксплуатируемой техники. Условия закупки таких «неординарных товаров» в законе «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» (далее – закон № 44-ФЗ) регулируются ч. 2, ст. 42: в случае, если при заключении контракта объем подлежащих выполнению работ по техническому обслуживанию и (или) ремонту техники невозможно определить, в извещении об осуществлении закупки и документации о закупке заказчик указывает цену запасных частей или каждой запасной части к технике, оборудованию, цену единицы работы или услуги и рассчитывает начальную цену контракта, а оплату производит по факту выполненных работ.

Проблема на практике заключается в том, что неопределенность, возникающая при попытке предсказать фактический расход запасных частей (далее – запасы), имеет несколько измерений, каждое из которых вносит свой вклад в усложнение задачи прогноза. Фактический расход почти всегда будет отличаться от прогнозного значения в бóльшую или меньшую сторону.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ЭТАПОВ ИСПОЛНЕНИЯ ГОСКОНТРАКТА

Исходными данными являются:

1. Закон № 44-ФЗ на закуп товаров, объем которых не может быть достоверно установлен на момент заключения контракта.

2. Содержание понятия «отдельный этап исполнения госконтракта», определенного в законе № 44-ФЗ.

3. Затраты на логистику со стороны Заказчика при исполнении этапа контракта, максимальная начальная цена контракта.

4. Интенсивность расходования запасов, измеряемая в деталях/мес. Например, 3 детали в месяц.

Требуется определить количество отдельных этапов контракта, при которых достигается лучшая техническая готовность парка машин при разумных логистических затратах.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Для решения поставленной задачи необходимо определить:

1. Сущность процесса формирования и исполнения госконтракта.

2. Компьютерную модель исполнения госконтракта.

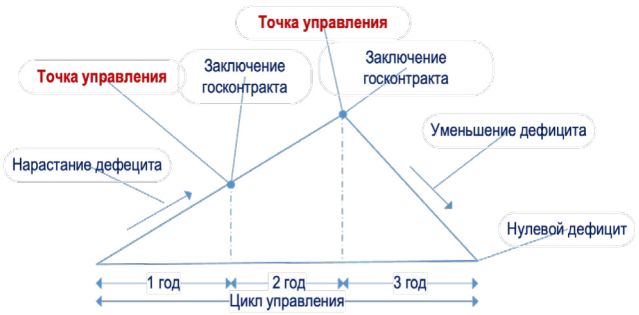
3. Алгоритм заключения госконтракта на закупку запасных частей.

Сущность исполнения ГК заключается в том, что планирование закупок осуществляется на год вперед и плановый период. Временная логика заключения госконтракта на закупку запасных частей представлена на рис. 1.



Рис. 1. Временная логика заключения госконтракта на закупку запасных частей. Календарные даты на рис. 1 условны

В середине текущего года, в рассматриваемом примере 2026 года, план должен быть сформирован в виде плана-графика закупок и направлен распорядителю бюджетных средств. План-график разрабатывается на три года: на следующий финансовый год, на первый и второй год планового периода. Лимиты бюджетных обязательств (ЛБО) становятся известны заказчику в начале следующего года, в нашем случае – в начале 2027 года. Далее происходит заключение контракта и его исполнение. Исполнение контракта в 2027 году происходит в изменившихся условиях, что неизбежно приводит к расхождению запланированных объемов с реальным расходом запасных частей. В конце года становятся известными фактические потребности, которые не могут быть удовлетворены немедленно, т.к. необходимо вновь дождаться данных по ЛБО. Поэтому в 2028 году поставка запасных частей происходит в тех же объемах, что и в 2027 году. Дефицит запасов на складе продолжает нарастать на протяжении 2 лет: в 2027 и 2028 годах. В 028 году происходит корректировка плана-графика поставок проактивным методом таким образом, что поставки в 2029 году обнуляют дефицит. Графически процесс управления поставками показан на рис. 2.



Соответствие терминологии на рис. 1 и 2:
1 год – «следующий финансовый год»
2 год – плановый период: первый год
3 год – плановый период: второй год

Рис. 2. Цикл управления закупками запасных частей в ограничениях закон № 44-ФЗ

Из рисунка наглядно следует:

- дефицит запасов нарастает два года подряд;
- план закупок во втором году должен быть сформирован с учетом компенсации дефицита при исполнении контракта в третьем году;
- управленческий цикл равен трем годам и содержит две точки заключения госконтракта: в начале второго и третьего года;
- при заключении контракта предполагается, что расход в каждом следующем году будет в точности, как в предыдущем, что соответствует проактивной стратегии заключения контракта.

Перечисленные ограничения объясняют потребность в поиске более эффективного способа управления, нежели трехгодичный цикл всего с двумя точками, в которых может быть осуществлено управляющее воздействие. В сущности, имеет место статическая система, характеризуемая малым разнообразием[1] [1] состояний; следовательно, и управление такой системой достаточно примитивно, что влечет плохо контролируемый дефицит запасов на складе. Недостаточная управляемость нарушает информационную связь с другими процессами жизненного цикла, в частности с процессом определения эксплуатационной схемы деления изделия на этапе разработки для последующего формирования заказов на комплектующие компоненты на этапе эксплуатации [2].

На рис. 2 цикл управления, равный трем годам, означает, что на протяжении жизненного цикла технического объекта в 15 лет может быть осуществлено 5 управляющих воздействий, обеспечивающих нулевой дефицит на складе. Точка управления на рис.2 выделена цветом. Для увеличения числа управляющих воздействий следует уменьшить цикл управления. Цикл управления состоит из двух периодов. В первом периоде (1-й год + 2-й год) происходит накопление дефицита, а во втором (3-й год) – обнуление дефицита.

Уменьшения возможно добиться путем заключения контракта в точке управления, исполняемого мгновенно; естественно, что при этом третий год выводится за скобки цикла управления. Цикл управления теперь включает два равных периода (1-й год + 2-й год = 2 года) вместо трех лет. На рис. 3 сказанное представляется графически.

Допущение мгновенного контракта приводит к рассмотрению вариантов продолжительности цикла управления, измеряемого не в годах, а в неделях, месяцах, кварталах, полугодиях и даже днях. Юридическим основанием для этого является понятие «отдельный этап госконтракта»[2].

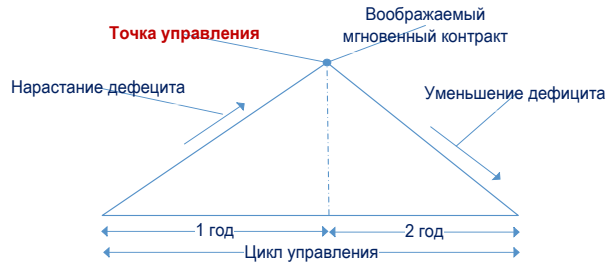


Рис. 3. Цикл управления при идеальном госконтракте – заключение контракта и одновременно его исполнение

В контексте решаемой задачи это означает, что во временны́х и финансовых границах госконтракта, определяемых периодами (один раз в год, см. рис. 1) выделяемых лимитов бюджетных ограничений, могут оплачиваться отдельные этапы, количество и продолжительность которых федеральный закон не устанавливает, а следовательно, их продолжительность и стоимость могут быть оптимизированы в пределах текущего финансового года. Таким образом, цикл управления теперь возможно измерять не в годах, а в периодах планирования, т.е. закупки планируются на квартал, месяц, неделю и т.д. При этом допущение о «мгновенном» исполнении госконтракта заменяется допущением о «мгновенном» исполнении отдельного этапа госконтракта, что представляется разумным с точки зрения практики. Возможные альтернативные варианты циклов планирования представлены на рис. 4.

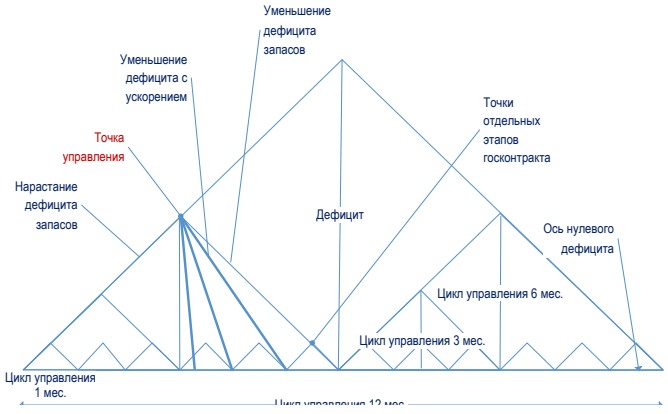


Рис. 4. Возможные альтернативы циклов управления

Точки управления находятся на вершинах треугольников. Одна из возможных точек отмечена красным цветом.

Всего на рис. 4 шестнадцать управляющих точек, соответствующих количеству вершин треугольников в пределах текущего года. В этих точках определяется стоимость отдельного этапа госконтракта. Скорость уменьшения дефицита может быть больше скорости его нарастания. Это отмечено на рисунке выделенными линиями, сходящимися в

[1] Согласно закону необходимого разнообразия У.Р. Эшби разнообразие управляющей системы должно быть больше управляемого объекта. В нашем случае объект описывается процессом поступления и потребления запасных частей на склад/со склада в терминах системной динамики. Чем чаще уточняется вход (чем большим разнообразием обладает система управления), тем лучше, тем меньше дефицит на складе (на объекте управления).

[2] Письмо Министерства финансов Российской Федерации от 12 мая 2022 г. № 24-06-06/43240.

точке управления, которая отмечена красным цветом. Все возможные альтернативы отразить графически затруднительно. Еще более затруднительно выбрать удовлетворяющий заказчика цикл управления из возможных вариантов. Для четкого понимания заказчиком процесса управления закупками графического восприятия недостаточно. Необходимо разработать динамическую модель процесса, демонстрирующую управление складским дефицитом, и предоставить в руки заказчику укрупненный/концептуальный алгоритм оптимизации этапности исполнения госконтракта для его реализации в конкретных условиях.

МОДЕЛЬ ИСПОЛНЕНИЯ ГОСКОНТРАКТА

Модель определена в терминах системной динамики [3], см. рис. 5.

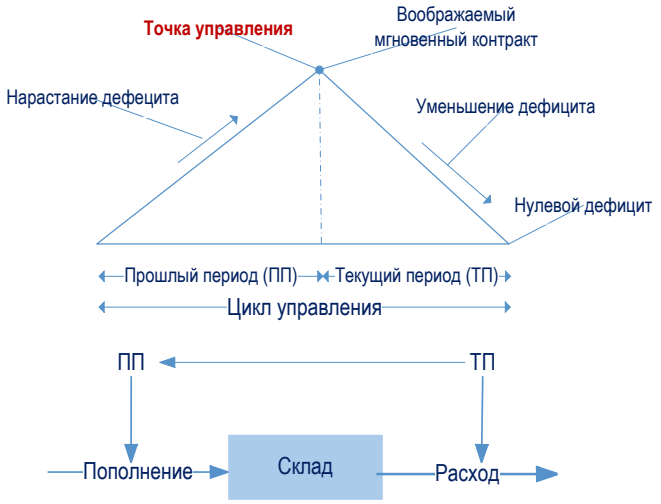


Рис. 5. Модель исполнения госконтракта в терминах системной динамики

Фактический расход определяется в конце текущего периода цикла управления. Со временем текущий цикл становится прошлым циклом; следовательно, пополнение – это расход прошлого текущего периода. Будущий расход нового текущего периода в этот момент неизвестен. Здесь возникает неопределенность, создающая проблему исполнения контракта, т.к. пополнение будет совпадать с расходом (Пополнение = Расход) только при условии равенства расходов текущего и прошлого циклов. Однако заранее знать это не представляется возможным. Неопределенность налицо. Полностью снять неопределенность нельзя, но уменьшить ее влияние на снижение простоя техники по причине отсутствия на складе запасных частей возможно.

Переменная ПП – прошлый период определяет пополнение запасов. Переменная ПП хранит значение расходов прошлого текущего периода.

Переменная ТП – текущий период определяет расход запасов. Переменная ТП хранит значение фактического расхода в конце текущего года.

Поток – отражает скорость материальных объектов, поступающих на склад (в терминах системной динамики склад – это накопитель). Скорость задается в ед. времени расхода запасов. Например, расход: 5 деталей в мес. Переменные ПП и ТП хранят скорости потоков на входе и выходе склада. При условии равенства переменных (ПП=ТП) система находится в равновесном состоянии, а остаток на складе является нулевым. В концепции бережливого производства[3] это означает, что создана система вытягивания: закупается ровно столько комплектующих, сколько требуется для ремонта, ни больше, ни меньше. Это позволит избежать лишних расходов и невостребованного накопления запасов. Однако на практике в силу вероятностного характера потока отказов расходы от одного периода к другому не совпадают. Несовпадение тем больше, чем протяженнее по времени цикл управления. Дефицит на складе растет пропорционально разности скоростей расхода деталей за прошедший период и текущий. Чем больше цикл управления, тем хуже управление, тем больше дефицит, определяемый как скорость расхождения потребления запаса в текущем периоде потребления и прошедшем. В идеале цикл управления стремится к нулевому значению (нужна запасная часть – тут же ее получили), что означает устремление дефицита деталей на складе к нулевому значению. На практике цикл управления не может быть бесконтрольно уменьшен больше некоторого значения, превышение которого означает чрезмерный рост логистических затрат, превосходящий финансовые потери от дефицита запасных частей на складе, т.е. от простоя техники по причине дефицита запасов. Возникают условия для формулирования и решения оптимизационной задачи определения рациональной протяженности отдельного этапа госконтракта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ключевым элементом поддержания готовности сложных технических систем является ЗИП – запасные части, имущество и принадлежности [4]. Городской транспорт включает большое количество видов транспорта (автомобили, автобусы, трамваи, электробусы, метро, электропоезда, речные трамваи и другие виды транспорта) и является сложной системой большой размерности. Этим объясняется необходимость оптимизации и стандартизации процедур закупок запасных частей для нужд городского транспорта, рассматриваемых во второй части статьи.

[3] ГОСТ Р 56407–2023 Бережливое производство. Основные инструменты и методы их применения. – М.: Российский институт стандартизации, 2023. – 12 с.

Список литературы

1. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. Пер. с англ. / Под ред. В.А. Успенского. Предисл. А.Н. Колмогорова. – М.: Ленанд, 2021. – 432 с.
2. Ануфриев А.В., Бурый А.С. Спецификация материалов в задачах информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 1(88). С. 4–10.
3. Акопов А.С., Хачатрян Н.К. Системная динамика. – М.: ЦЭМИ РАН, 2014. – 70 с.
4. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб.: Издательский дом «Питер», 2001. – 384 с.

References

1. Ashby, W.R. Introduction to Cybernetics. Translated from English. Ed. by V.A. Uspensky. Foreword by A.N. Kolmogorov. Moscow: Lenind, 2021. 432
2. Anufriev A.V., Buryi A.S. Bill of Materials in the tasks for information support of product lifecycle processes. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026; 1(88): 4–10. (In Russ.)
3. Akopov, A.S., Khachatryan, N.K. SYSTEM DYNAMICS. Moscow: CEMI RAS, 2014. 70 p.
4. Ryzhikov, Yu.I. Queue Theory and Inventory Management. St. Petersburg: Piter Publishing House, 2001. 384 p.

УДК 006.05+005.51

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ В ХОДЕ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА

THE TASK OF OPTIMAL DISTRIBUTION OF DOCUMENTS DURING EXPERT ANALYSIS

Филатов И.Н., д-р техн. наук, главный научный сотрудник АНО «Квалитет» (Москва, Россия)

Кузьминский И.В., аспирант, ФГБУ «Институт стандартизации» (Москва, Россия)

Статья посвящена решению задачи оптимального распределения документов между экспертами с учетом их квалификации, а также с учетом трудоемкости работ по экспертизе документа, что приведет к повышению производительности труда специалистов.

Постановка задачи (минимизация суммарной трудоемкости при ограничениях) относится к классу целочисленного линейного программирования.

В статье рассмотрена адаптация классического венгерского алгоритма в условиях повышенной размерности и многокритериальности, а также дополнительных ограничений, с которыми «решатели» стандартного офисного программного обеспечения не справляются напрямую.

Предложен расчетно-экспериментальный двухэтапный подход, включающий этап формирования эталонного плана путем выбора минимальных значений для столбцов и этап оптимизации, основанный на выборе подматрицы, содержащей перспективные варианты, и решении задачи назначения.

Такое сочетание эвристических процедур и точных методов уменьшения размерности представляет собой новое инженерное решение для задач такого класса.

Ключевые слова: целочисленное линейное программирование, оптимальное распределение документов, минимизация суммарной трудоемкости, венгерский алгоритм.

Для цитирования: Филатов И.Н., Кузьминский И.В. Задача оптимального распределения документов в ходе экспертного анализа // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 57–66.

Filatov I.N., Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher at the Qualitet ANO (Moscow, Russia)

Kuzminsky I.V., postgraduate student, Russian Standardization Institute (Moscow, Russia)

The article is devoted to solving the problem of optimal distribution of documents between experts, taking into account their qualifications, as well as taking into account the complexity of work on the examination of the document, which will lead to an increase in the productivity of specialists.

The problem statement (minimizing the total complexity under constraints) belongs to the class of integer linear programming.

The article considers the adaptation of the classical Hungarian algorithm in conditions of increased dimensionality and multi-criteria, as well as additional limitations that the «solvers» of standard office software cannot cope with directly.

A computational and experimental two-stage approach is proposed, including the stage of forming a reference plan by selecting minimum values for columns and the optimization stage based on the selection of a submatrix containing promising options and solving the assignment problem.

This combination of heuristic procedures and precise methods for reducing dimensionality represents a new engineering solution for problems of this class.

Keywords: integer linear programming, optimal document distribution, minimization of total labor intensity, Hungarian algorithm.

For citation: Filatov I.N., Kuzminsky I.V. The Task of Optimal Distribution of Documents During Expert Analysis. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026, no. 4(91), pp. 57–66. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

В организациях, где ежегодный поток документов на экспертизу исчисляется сотнями, а каждый документ имеет различный объем и тематическую принадлежность, ручное распределение становится узким местом: оно медленное, подвержено ошибкам и часто ведет к перекосу нагрузки.

В работах по экспертизе документов перед распределением документов по экспертам необходимо в первую очередь провести оценку трудоемкости экспертизы каждого конкретного документа («сложности» документа). Действительно, время, требуемое, например, на экспертизу стандарта на «общие технические условия», несоизмеримо больше времени, затрачиваемого на экспертизу стандарта на «маркировку».

Во вторую очередь необходимо адекватно оценить возможности эксперта. Воспользовавшись уже приведенным примером, отметим, что работы по экспертизе стандарта на «маркировку» может выполнить специалист сравнительно невысокой квалификации, но работы по экспертизе стандарта на «общие технические условия» требует глубокого знания не только предметной области, но и достаточно высокой квалификации в смежных областях — системе разработки и постановки продукции на производство, единой системе технологической доку-

ментации, единой системе конструкторской документации, метрологии и др.

В-третьих, необходимо учитывать и «литерность» документа.

Так, при привлечении экспертов федеральными органами исполнительной власти при осуществлении отдельных полномочий определенные документы не может рассматривать эксперт, который не аттестован в данной области[1].

Сама постановка задачи (минимизация суммарной трудоемкости при ограничениях) относится к классу целочисленного линейного программирования и известна.

Возможные методы решения поставленной задачи приведены в табл. 1.

Анализ математических методов [1–9], применение которых способствует получению рациональных решений поставленной задачи, показал, что ни один из рассмотренных методов не способен реализовать процесс решения в полном объеме без использования специальных вычислительных машин.

Исходя из результатов анализа методов, представленных в табл. 1, оптимальным является выбор венгерского алгоритма (частного случая симплекс-метода) в качестве базового и понимание необходимости его адаптации под условия поставленной задачи, а именно:

Таблица 1

Методы решения

№	Название метода	Сущность	Достоинства/недостатки	Источник
1.	Полный перебор	Получение численных значений решения путем подстановки в модель всех возможных комбинаций значений входных параметров	Математически нереализуем за разумное время из-за экспоненциального нарастания количества решений с ростом размерности задачи	[1]
2.	Монте-Карло Генетический алгоритм Метод случайного блуждания	Методы оптимизации на основе статистического моделирования процесса функционирования группы объектов Наивный подход, быстро приводящий к оптимальному решению при наличии (созданию) решающего правила, позволяющего отделять перспективные варианты от тупиковых	Существенно зависит от исходной точки Не обеспечивает гарантированного нахождения оптимального решения	[2-4]
3.	Симплекс-метод Метод Мака Венгерский алгоритм	Эквивалентные преобразования матрицы затрат (связности) с целью получения базисного решения, после чего направленный перебор решений с целью их улучшения	Нагляден, прост для решения «вручную» при малом количестве вариантов Возможно решение для матрицы связности размерностью до 25х5	[5, 6]
4.	Метод ближайших К соседей	Направление следующего шага определяется по минимальной сумме расстояний до ближайших К соседей	Направление следующего шага определяется по минимальной сумме расстояний до ближайших К соседей.	[7]
5.	Метод коммивояжера	Выйдя из стартовой вершины, посетить каждую вершину графа ровно один раз и вернуться в начальную по кратчайшему пути	Выйдя из стартовой вершины, посетить каждую вершину графа ровно один раз и вернуться в начальную по кратчайшему пути	[8]
6.	Алгоритмы задачи о ранце	Оптимизация номенклатуры и количества целочисленных объектов в условиях ограничений	Оптимизация номенклатуры и количества целочисленных объектов в условиях ограничений	[9]

большая размерность задачи затрудняет применение стандартных процедур компьютерной оптимизации для стандартного офисного программного обеспечения;

наличие организационных ограничений, связанных со спецификой организации.

Целью исследования является разработка алгоритма по оптимальному распределению документов между экспер-

[1] Федеральный закон от 28.12.2013 № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» // Собрание законодательства РФ. 2013. № 52 (Часть I). Ст. 6997.

тами с учетом их квалификации и ограничений (допуск к литерным документам, минимальное количество задач на эксперта), а также с учетом трудоемкости экспертизы конкретного документа для стандартного офисного программного обеспечения.

ВЕРБАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

В организации работает некоторое, заранее известное, количество экспертов $x_i, i = 1, 2, \ldots, N1$, отличающихся своей квалификацией, которая характеризуется следующими параметрами (поправочными коэффициентами), представленными в табл. 2.

Таблица 2

Градации уровней квалификации экспертов

Уровень	Описание уровня	Примечание
K1	Базовая квалификация	K1 от 0.6 до 1*
K2	Степень участия эксперта в предварительных работах по документу	если принимал, то K2 = 0,8*, если нет, то K2 = 1*.
K3	Допуск к литерным документам	K3=0*, не аттестован в данной области, K3=1*, аттестован в данной области
K4	Опыт работы с аналогичным видом документа	K4 от 0,6 до 0.8* имеет опыт работы с аналогичным документом, K4=1* не имеет опыта работы с аналогичным документом

* Численные значения приведены для конкретных экспертов ФГБУ «Институт стандартизации»

Им поставлена задача провести экспертизу определенного, заранее известного, количества документов $yj, j = 1, 2, \ldots, N2$, отличающихся своими характеристиками, систематизированными в табл. 3.

Таблица 3

Градации характеристик документов

Уровень	Описание уровня	Примечание
L1	*Трудоемкость документа (количество страниц, сложности предметной области и т.д.)*	–
L2	Был ли предварительно документ у эксперта	Да/Нет
L3	Литерность	Да/Нет
L4	Вид документа	Да/Нет

Необходимо распределить документы между экспертами по определенному решающему правилу так, чтобы оптимизировать некоторый функционал при условии соблюдения заданных ограничений.

В организации установлены следующие дополнительные ограничения:

– с документом работает только один эксперт;

– некоторая часть экспертов не имеет аттестации по некоторым документам (ограничение по документам);

– каждый эксперт в целях повышения своей квалификации проводит экспертизу заданного руководителем минимального количества контролируемых документов (ограничение снизу);

– все эксперты полностью работоспособны на всем промежутке времени проведения работ;

– рост квалификации эксперта в процессе выполнения работы не учитывается;

– решение задачи проводят с применением стандартных офисных программ и сред вычислений;

– возможны и дополнительные ограничения, например на максимальное и минимальное значения величины трудозатрат каждого эксперта, на максимальное количество документов у каждого эксперта, максимальное время работы группы экспертов и др.

Для сокращения размерности и сложности решаемой задачи примем следующие допущения и ограничения:

– решение задачи осуществляется поэтапно, результат решения задачи на каждом этапе и последующее продолжение согласуются с лицом, принимающим решение;

– время работы (суммарная трудоемкость) измеряется в условных единицах.

Останов процесса:

этапа № 1 – найдено оптимальное решение по нахождению опорного плана (сумма минимальных трудозатрат без ограничений);

этапа № 2 – выполнены все ограничения, и полученное значение трудоемкости выполнения работ группой экспертов соответствует постановке задачи.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В ТЕРМИНАХ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Введем понятие трудоемкости документа A_{ij}, под которой в работе будем понимать временны́е затраты, выраженные в условных единицах, i-го эксперта на экспертизу j-го документа.

Поскольку база данных, включающая в себя всю необходимую информацию об экспертах и документах, известна,

можно вычислить трудоемкость для каждого элементарно возможного варианта распределения документа по каждому эксперту и представить исходные данные задачи в виде матрицы связности, представленной в табл. 4.

Введем понятие индикатора выполнения работ, под которым будем понимать параметр c_{ij}, такой, что:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если } i\text{-й эксперт работает с } j\text{-м документом;} \\ 0, \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

Введем условие «один документ – один эксперт» в виде:

$$\sum_{i=1}^{N1} c_{ij} = 1\,. \quad (2)$$

Введем понятие объем работы (трудозатраты) i-го эксперта A_i, под которым будем понимать значение выражения:

$$A_i = \sum_{j=1}^{N2} c_{ij} \cdot A_{ij}\,. \quad (3)$$

Введем в рассмотрение общий объем работы группы экспертов:

$$A = \sum_{i=1}^{N1} \sum_{j=1}^{N2} c_{ij} \cdot A_{ij}\,. \quad (4)$$

Тогда математическая формулировка целевой функции, минимизирующей суммарные трудозатраты группы экспертов, имеет вид, %

$$A = \sum_{i=1}^{N1} \sum_{j=1}^{N2} c_{ij} \cdot A_{ij} \to min. \quad (5)$$

При условии минимального количества документов на экспертизу 1 экспертом:

$$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij} \geq N_3\,, \quad (6)$$

где N_3 – минимальное количество документов, обрабатываемых каждым экспертом.

Например, ФГБУ «Институт стандартизации» в 2023 году провел экспертизу 100 документов по стандартизации оборонной продукции, при этом было привлечено 8 экспертов с минимальным распределением — не менее двух документов (в рамках рассматриваемой задачи: $N_1 = 8$; $N_2 = 100$; $N_3 = 2$). Матрица трудоемкости приведена на рис. 1.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

Таблица 4

Матрица связности

		ДОКУМЕНТЫ						
		y_1	y_2	...	y_j	...	$Y_{(N2\text{-}1)}$	y_{N2}
Э	x_1	A_{11}	A_{12}	...	A_{1j}	...	$A_{1(N2\text{-}1)}$	A_{1N2}
К	x_2	A_{21}	A_{22}	...	A_{2j}	...	A_{ij}	A_{ij}
С	...	...	...	...	...	...	...	...
П	x_i	A_{i1}	A_{i2}	...	A_{ij}	...	...	...
Е	...	...	...	...	...	...	...	...
Р	$x_{N1\text{-}1}$	$A_{(N1\text{-}1)1}$	$A_{(N1\text{-}1)2}$	...	$A_{(N1\text{-}1)j}$	...	$A_{(N1\text{-}1)(N2\text{-}1)}$	$A_{(N1\text{-}1)N2}$
Т	x_{N1}	A_{N11}	A_{N12}	...	A_{N1j}	...	$A_{N1(N2\text{-}1)}$	A_{N1N2}
Ы								

1	2	3	4	5	6	7	8
МАТРИЦА ТРУДОЕМКОСТИ							
0,2	0,17778	0,12	0,18286	0,13714	0,18286	266,667	160
0,14112	0,12544	0,1323	0,16128	0,16128	0,16128	188,16	141,12
0,2	0,13333	0,15	0,22857	0,28571	0,28571	200	200
0,07616	0,08462	0,0952	0,136	0,0816	0,102	0,0952	0,12693
0,544	0,36267	0,544	0,77714	0,77714	0,77714	0,544	0,544
0,476	0,52889	0,357	0,544	0,85	0,544	0,79333	0,476
0,0457	0,06347	0,05712	0,0816	0,06528	0,0816	0,05712	0,05712
0,02513	0,02793	0,03927	0,04488	0,0359	0,04488	0,03142	0,03142
0,20944	0,23271	0,2618	0,4675	0,374	0,374	0,2618	0,2618
0,19992	0,29618	0,4165	0,357	0,476	0,2856	0,3332	0,44427
0,13709	0,15232	0,2856	0,19584	0,19584	0,19584	0,22848	0,3808
0,102	0,09067	0,17	0,11657	0,19429	0,11657	0,136	0,22667
0,136	0,15111	0,102	0,15543	0,11657	0,15543	0,28333	0,136
0,1428	0,12693	0,1071	0,1632	0,204	0,1632	0,1904	0,1428
0,17	0,11333	0,1275	0,19429	0,19429	0,30357	0,17	0,17
0,06397	0,07108	0,07997	0,1428	0,06854	0,06854	0,07997	0,10662
0,41888	0,27925	0,41888	0,47872	0,748	0,5984	0,41888	0,41888
0,36652	0,50906	0,27489	0,41888	0,5236	0,41888	0,61087	0,36652
0,0544	0,06044	0,085	0,09714	0,07771	0,09714	0,068	0,068
0,02742	0,03046	0,03427	0,0612	0,03917	0,04896	0,03427	0,03427
0,25024	0,27804	0,3128	0,55857	0,44686	0,44686	0,3128	0,3128
0,18393	0,27248	0,38318	0,26275	0,43792	0,26275	0,30654	0,51091
0,14076	0,12512	0,2346	0,16087	0,16087	0,16087	0,18768	0,25024
0,0563	0,06256	0,1173	0,08043	0,13406	0,08043	0,1173	0,1564
0,09384	0,10427	0,07038	0,10725	0,10054	0,10725	0,1564	0,09384
0,09853	0,08758	0,0739	0,11261	0,11261	0,14076	0,13138	0,09853
0,1173	0,0782	0,08798	0,16757	0,13406	0,16757	0,1173	0,1173
0,05255	0,05839	0,06569	0,09384	0,07038	0,0563	0,06569	0,08758
0,544	0,45333	0,544	0,62171	0,77714	0,77714	0,544	0,544

Рис. 1. Матрица трудоемкости ФГБУ «Институт стандартизации» (фрагмент)

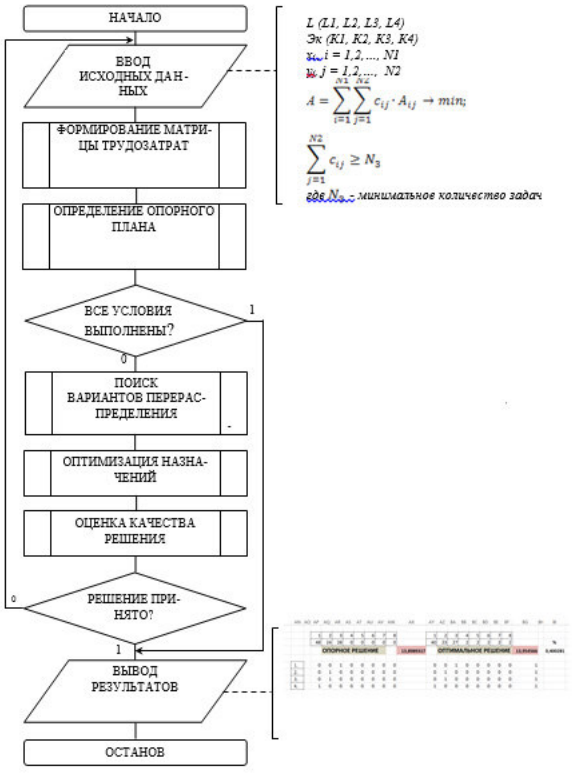


Рис. 2. Блок-схема

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для разработки алгоритма решения задачи требуемой размерности (8х100) первоначально был проведен поиск рациональных решений в максимально возможной для математического процессора Microsoft Excel размерности, чтобы потом на их основе сформировать алгоритм поиска рационального решения для задачи требуемой размерности на основе выявленных закономерностей.

Для проведения вычислительных экспериментов был сформирован комплексный генератор псевдослучайных величин, учитывающий особенности оценивания трудоемкости A_{ij} (трудозатрат i-го эксперта на обработку j-го документа), а именно:

отличия в опыте и квалификации экспертов;

опыт разработки основных типов документов;

особенности и объем рассматриваемых документов и др., причем для повышения наглядности процедур выбрана целочисленная форма натуральных значений.

Первое выражение (случайное число) характеризует возрастающую (с интервалом 10 и нарастанием 6) сложность рассматриваемого документа, а второе – повышающийся уровень квалификации экспертов.

В результате матрица трудозатрат (связности) имеет вид, представленный на рис. 3.

В первой строке находятся значения трудозатрат для самого опытного эксперта, а в нижней – новичка.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH
1															ГЕНЕРАТОР ТРУДОЕМКОСТИ																					
2																																		
3																																		
4	ГРАНИЦЫ					150	156	162	168	174	180	186	192	198	204	210	216	222	228	234	240	246	252	258	264	270	276	282	288	294		СЛОЖНОСТЬ		
5	СЛОЖНОСТИ					200	206	212	218	224	230	236	242	248	254	260	266	272	278	284	290	296	302	308	314	320	326	332	338	344		ДОКУМЕНТА		
6																																		
7																																		
8						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
9	ОПЫТ	30	40		1	153	163	148	183	169	148	184	177	189	185	219	205	219	192	212	228	222	231	242	254	272	255	246	284	257				
10		20	30		2	157	156	151	150	173	166	192	187	208	215	210	239	215	222	230	245	257	269	274	273	251	283	300	309	314				
11		10	20		3	176	144	149	206	180	179	170	208	184	212	216	214	224	257	218	248	275	281	260	293	279	298	280	293	288				
12		0	10		4	180	188	152	179	185	194	211	191	221	207	201	242	226	223	278	274	284	268	286	265	297	319	298	335	286				
13	НЕТ	-10	0		5	185	193	191	179	207	217	229	214	235	252	228	268	258	244	279	296	264	289	294	300	306	287	297	337	303				

Рис. 3. Матрица трудозатрат

В первом столбце находятся трудозатраты по экспертизе документа с минимальной трудоемкостью, в последнем – с максимальной трудоемкостью.

В результате эксперимента установлено, что устойчивый результат решения оптимизационной задачи достигается при максимальном размере матрицы 25х5. Аналогичная задача была поставлена и решена в среде вычислений Mathcad.

В результате эксперимента получен результат, характеризуемый максимальным количеством ячеек матрицы трудозатрат, не превышающим 150 (7х21; 6х24; 5х30; 4х36).

В ходе второго вычислительного эксперимента исследовалась зависимость минимального значения трудоемкости объема работ от ограничений на максимальное количество задач, выполняемых одним экспертом.

Для этого решалась задача о назначениях при ограничениях на максимально возможное количество задач одного эксперта. Сводные результаты представлены в табл. 5 (методика решения задачи о назначении в Microsoft Excel – [10]).

Однако варианты, представленные в последних трех колонках (табл. 5), хотя и обеспечивают меньшие значения трудоемкости, не жизнеспособны, поскольку ни одно лицо, принимающее решение, не будет способствовать ситуации, когда эксперт не используется по целевому предназначению и не получает вследствие этого необходимый ему опыт.

Таблица 5

Результаты второго вычислительного эксперимента

	Варианты условий решения				
Ограничение	$\sum c_{ij} = 5$	$\sum c_{ij} \le 6$	$\sum c_{ij} \le 8$	$\sum c_{ij} \le 10$	$\sum c_{ij} \le 12$
Эксперт № 1	5	6	8	10	12
Эксперт № 2	5	6	8	6	5
Эксперт № 3	5	6	7	7	7
Эксперт № 4	5	6	2	2	1
Эксперт № 5	5	1	0	0	0
Минимальная суммарная трудоемкость	5409	5284	5212	5177	5156

Для этого были изменены условия эксперимента – были введены ограничения минимального количества документов для одного эксперта. В результате получили величины, представленные в табл. 6.

Близость численных значений результатов оптимизации позволяет ввести термин «семейство рациональных решений», под которым в работе будет пониматься совокупность решений задач оптимизации, незначительно отличающихся между собой.

В ходе третьего вычислительного эксперимента исследовалась возможность введения ограничений на «литерные» документы, для чего некоторая часть значений матрицы трудозатрат, выделенная желтым цветом, была заменена на число, превышающее любое из таблицы, например 1000 (см. рис. 4). Две нижние таблицы рис. 4 характеризуют возможность использования данного подхода для решения оптимизационной задачи в целом (методика решения задачи о назначении в Microsoft Excel – [10]).

Данные показывают возможность ограничения возможностей неаттестованных экспертов для двух крайних ограничений:

первый срез – 16-3-2-2-2 – не менее двух задач (суммарные трудозатраты –5250);

второй срез – 6-6-6-6-1 – не менее одной задачи (суммарные трудозатраты –5412).

При обоих оптимальных решениях в желтом секторе, характеризующем зону запрета, нет 1 (единиц).

В ходе четвертого вычислительного эксперимента проведен поиск процедур, позволяющих решить задачу нахождения опорного плана, учитывающих ограниченность стандартных программных продуктов при высокой размерности исходных данных, в процессе которого было установлено:

любые процедуры вероятностного подбора результатов, а также выполнения условия равенства количества задач у исполнителей приводят к ухудшению результатов до 50% от значений семейства рациональных решений;

попытки многократного решения стандартной задачи о назначениях (5 раз для матрицы 5х5) даже при дополнительном ранжировании по разным условиям и результатам дополнительных вычислительных процедур (расчете сред-

Таблица 6

Результаты третьего вычислительного эксперимента

	Варианты условий решения			
Ограничение	$1 \le \sum c_{ij} \le 8$	$2 \le \sum c_{ij} \le 8$	$1 \le \sum c_{ij} \le 10$	$2 \le \sum c_{ij} \le 10$
Эксперт № 1	8	8	10	10
Эксперт № 2	7	6	6	4
Эксперт № 3	7	7	7	7
Эксперт № 4	2	2	1	2
Эксперт № 5	1	2	1	2
Минимальная суммарная трудоемкость	5226	5251	5198	5227

них, размаха, квартилей и др. для строк-столбцов-квадратов) приводят к аналогичному результату.

Это позволяет сделать вывод о нецелесообразности использования стандартных процедур решения задачи о назначениях в формате 25x5 при 6 повторах для получения результата для матрицы 150x5.

Совместный анализ результатов решения оптимизационной задачи о назначениях для фиксированных значений матрицы связности 25x5 и различных эквивалентных преобразований матрицы затрат (связности) с целью получения базисного решения, проведенный для трех различных матриц связности и отраженный в табл. 7, привел к следующим выводам:

– метод 1, преобразующий исходную матрицу последовательным вычитанием минимального значения каждой строки из элементов рассматриваемой строки с последующим вычитанием минимального значения каждого столбца из элементов рассматриваемого столбца. Элементом оптимального решения является значение исходной матрицы, соответствующее нулевому значению полученной матрицы. В случае нескольких нулевых значений в рассматриваемом столбце выбирается минимальное соответствующее значение данного столбца в исходной матрице.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
1																													
2		153	163	148	183	169	148	184	177	189	185	219	205	219	192	212	228	222	231	242	254	272	255	246	284	257			5412
3		157	156	151	150	173	166	192	187	208	215	210	239	215	222	230	245	257	269	274	273	251	283	300	309	314			
4		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	216	214	224	257	218	248	275	281	260	293	279	298	280	293	288			
5		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	201	242	226	223	278	274	284	268	286	265	297	319	298	335	286			
6		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	228	268	258	244	279	296	264	289	294	300	306	287	297	337	303			
7																													
8		0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6		
9		1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6		
10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	6		
11		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	6		
12		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1		
13		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
14																													
15	16	153	0	148	0	169	148	184	177	189	185	0	0	0	192	0	228	222	231	242	0	0	0	246	284	257		3255	
16	3	0	156	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	251	0	0	0	0		557	
17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	214	0	0	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		432	
18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	226	0	0	0	0	0	0	265	0	0	0	0	0		491	
19	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	228	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	287	0	0	0		515	
20																												5250	
21																													
22	6	0	0	0	0	0	148	184	177	189	185	0	0	0	0	0	0	222	0	0	0	0	0	0	0	0		1105	
23	6	157	156	151	150	173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	251	0	0	0	0		1038	
24	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	214	0	0	218	248	0	0	260	0	0	0	280	293	0		1513	
25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201	0	226	223	0	0	0	268	0	265	0	0	0	0	286		1469	
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	287	0	0	0		287	
27																												5412	

Активация Windows

Рис. 4. Результаты третьего вычислительного эксперимента

Таблица 7

Результаты четвертого вычислительного эксперимента

	Эксперимент 4.1									
	Метод 1		Метод 2		Метод 3		Метод 4		Метод 5	
№ эксперта	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i
1	12	2814	11	2571	10	2294	12	2814	11	2571
2	7	1305	10	1821	10	1913	8	1445	11	2036
3	2	448	4	826	5	1026	3	593	3	611
4	2	367	0	0	0	0	1	216	0	0
5	2	324	0	0	0	0	1	165	0	0
Сумма	25	5258	25	5218	25	5233	25	5233	25	5218
	Эксперимент 4.2									
	Метод 1		Метод 2		Метод 3		Метод 4		Метод 5	
№ эксперта	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i
1	10	1987	13	2701	13	2701	13	2701	13	2701
2	9	1921	8	1672	8	1672	8	1672	8	1672
3	2	314	4	791	4	791	2	314	4	791
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	1045	0	0	0	0	2	520	0	0
Сумма	25	5267	25	5164	25	5164	25	5207	25	5164
	Эксперимент 4.3									
	Метод 1		Метод 2		Метод 3		Метод 4		Метод 5	
№ эксперта	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i	$\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$	A_i
1	3	468	13	2471	13	2471	8	1465	13	2471
2	4	759	6	1213	6	1213	5	1018	6	1213
3	12	2672	3	748	3	748	7	1516	3	748
4	5	1335	3	812	3	812	5	1292	3	812
5	1	219	0	0	0	0	0	0	0	0
Сумма	25	5453	25	5244	25	5244	25	5291	25	5244

– метод 2, преобразующий исходную матрицу последовательным вычитанием минимального значения каждого столбца из элементов рассматриваемого столбца с последующим вычитанием минимального значения каждой строки из элементов рассматриваемой строки. Элементом оптимального решения является значение исходной матрицы, соответствующее нулевому значению полученной матрицы. В случае нескольких нулевых значений в рассматриваемом столбце, выбирается минимальное соответствующее значение данного столбца в исходной матрице.

– метод 3, определяющий оптимальное решение задачи о назначениях в математическом процессоре Microsoft Excel без введения ограничений на максимальное и минималь-

ное количество документов каждому эксперту. В этом случае получается минимальное решение, обладающее существенным дисбалансом между экспертами.

– метод 4, являющийся продолжением методов 1 и 2 и объединяющий их результаты путем суммирования соответствующих ячеек результирующих матриц. Элементом оптимального решения является значение исходной матрицы, соответствующее нулевому значению полученной матрицы. В случае нескольких нулевых значений в рассматриваемом столбце выбирается минимальное соответствующее значение данного столбца в исходной матрице.

– метод 5, возникший из оценки результатов реализации методов 1 и 2 и определяющий оптимальное решение задачи о назначениях по минимальным значениям каждого столбца.

Анализ полученных результатов показывает, что оптимальным методом из рассмотренных является метод 5, обеспечивающий гарантированный минимальный опорный план.

Таким образом, решение задачи нахождения абсолютно минимального значения трудоемкости работы группы экспертов заключается в определении минимального значения трудоемкости выполнения работы по каждому стандарту и объединении их в матрицу назначений. Недостатком данного решения является возможное отсутствие задач у низкоквалифицированных экспертов, что подтверждают результаты табл. 7, выделенные цветом.

Вследствие этого возникает вторая задача оптимизации – перераспределения задач экспертам, обеспечивающая минимальный прирост суммарной трудоемкости.

В ходе пятого вычислительного эксперимента исследовалась возможность перераспределения задач экспертам, обеспечивающая минимальный прирост суммарной трудоемкости. Сущность эксперимента заключалась в определении процедур, способствующих получению искомого результата. На примере простейшего случая оптимизации для исходных данных эксперимента 4.3, когда были найдены решения для ситуации без ограничений ($\sum_{j=1}^{N2} c_{ij}$ – любое) на минимальное количество задач (суммарные трудозатраты – 5244) и с ограничением $\sum_{j=1}^{N2} c_{ij} \geq 2$ (суммарные трудозатраты – 5271).

Для оптимального перераспределения задач между экспертами после нахождения оптимального опорного решения (без ограничений) необходимо представить его в виде одной строки, а ниже записать значения строки трудоемкостей эксперта, которому будет передано определенное количество «чужих» задач, которые определяются минимумом разницы зафиксированных значений.

В ходе шестого вычислительного эксперимента исследовалась работоспособность предложенной методики в целом. Эксперимент осуществлен в следующей последовательности.

На первом этапе были систематизированы исходные данные и сформирована матрица трудоемкости по реальным данным (8×100, см. рис. 1.).

На втором этапе была рассчитана нижняя граница назначения как сумма минимальных значений строк.

На третьем этапе реализована процедура перераспределения задач.

Перераспределение задач основано на процедуре определения минимального значения каждой строки на каждом шаге.

После решения задачи о назначениях изменения внесены в опорное решение. Основные результаты представлены на рис. 5.

Приращение трудозатрат относительно опорного варианта составило 0,425778%, поэтому именно данная методика и была реализована в качестве программного продукта в ФГБУ «Институт стандартизации».

Полученный алгоритм, в отличие от традиционного решения задачи о назначениях, позволяет решать задачу оптимизации, учитывающую более широкую размерность (масштабность), возможность реализации запрета к определенного типа документам отдельным экспертам и др.

Кроме того, простота его реализации позволяет повторить решение как в математическом процессоре Microsoft

№ эксперта	1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8	
Документы	48	24	28	0	0	0	0	0		40	23	27	2	2	2	2	2	%
	ОПОРНОЕ РЕШЕНИЕ								13,8989317	ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ								13,9581103	0,425778
1.	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	1	0	0	0	0	0	
2.	0	1	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0	0	0	
3.	0	1	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0	0	0	
4.	1	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0	
5.	0	1	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0	0	0	
6.	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	1	0	0	0	0	0	
7.	1	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0	

Рис. 5. Результат итогового решения (фрагмент)

Excel, так и в среде вычислений Mathcad (и других пакетах прикладных программ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная работа посвящена решению задачи оптимального распределения документов между экспертами с учетом их квалификации и ограничений (допуск к литерным документам, минимальное количество задач на эксперта).

Разработан расчетно-экспериментальный алгоритм, позволяющий решить оптимизационную задачу по распределению заданного количества документов с известными характеристиками между экспертами определенной квалификации.

Предложен расчетно-экспериментальный двухэтапный подход:

1) формирование опорного плана путем выбора минимальных значений по столбцам (метод 5);

2) последующая оптимизация за счет выделения подматрицы, содержащей перспективные варианты, и решения задачи о назначениях для нее.

Такая комбинация эвристических процедур и точных методов для снижения размерности представляет собой новое инженерное решение.

Задача востребована в организациях, занимающихся экспертизой большого числа документов с учетом разных уровней трудоемкости экспертизы и квалификации сотрудников.

Предложенный алгоритм реализован в среде Microsoft Excel, что делает его доступным для широкого круга пользователей без необходимости приобретения специализированного программного обеспечения.

Методика позволяет лицу, принимающему решение, гибко задавать минимальное количество задач на эксперта (например, 2, 3 и т.д.), что повышает ее применимость в различных организационных условиях.

Результаты могут быть использованы для создания системы поддержки принятия решений в кадровом и проектном менеджменте.

Список литературы

1. Стивенс Р. Алгоритмы. Теория и практическое применение. – М.: Издательство «Э», 2016. – 544 с.
2. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. – М.: Наука, 1975. – 473 с.
3. Бураков М. В. Генетический алгоритм: теория и практика: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2008. – 164 с.
4. Орлов Ю.Н., Федоров С.Л. Методы численного моделирования процессов нестационарного случайного блуждания: учебное пособие. – М.: МФТИ, 2016. – 110 с.
5. Зыкина А.В. Методы оптимизации: конспект лекций. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 36 с.
6. Жигалова Е.Ф. Дискретная математика. Учебное методическое пособие для проведения практических занятий и лабораторных работ. – Томск: 2014г. – 127 с.
7. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 606 с.
8. Тюхтина А.А. Методы дискретной оптимизации: Часть 1: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 62 с.
9. Сигал И.Х. Задача о рюкзаке: теория и вычислительные алгоритмы. – М.: МИИТ, 2000. – 72 с.
10. Helpiks – URL: https://helpiks.org/5-107285.html?ysclid=mpuupxii8h5741633 (дата обращения: 30.04.2026 г.).

References

1. Stivens R. Algoritmy. Teoriya i prakticheskoe primenenie. Moscow: Izdatel'stvo «E», 2016, 544 p.
2. Ermakov S.M. Metod Monte-Karlo i smezhnye voprosy. Moscow: Nauka, 1975. 473 p.
3. Burakov M. V. Geneticheskij algoritm: teoriya i praktika: ucheb. posobie. SPb.: GUAP Publ., 2008. 164 p.
4. Orlov Yu.N., Fedorov S.L. Metody chislennogo modelirovaniya processov nes-tacionarnogo sluchajnogo bluzhdaniya: uchebnoe posobie. Moscow: MFTI Publ., 2016, 110 p.
5. Zykina A.V. Metody optimizacii: konspekt lekcij. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2007, 36 p.
6. Zhigalova E.F. Diskretnaya matematika. Uchebnoe metodicheskoe posobie dlya provedeniya prakticheskih zanyatij i laboratornyh rabot. Tomsk: 2014, 127 p.
7. Ajvazyan S. A., Buhshtaber V. M., et al. Prikladnaya statistika: klassifikaciya i snizhenie razmernosti. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1989, 606 p.
8. Tyuhtina A.A. Metody diskretnoj optimizacii: Part 1: Uchebno-metodicheskoe posobie. Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet, 2014, 62 p.
9. Sigal I.H. Zadacha o ryukzake: teoriya i vychislitel'nye algoritmy. Moscow: MIIT Publ., 2000, 72 p.
10. Helpiks – URL: https://helpiks.org/5-107285.html?ysclid=mpuupxii8h5741633 (accessed on April 30, 2026).

УДК 330.34

ДОСТИЖЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕГИОНА ПОСРЕДСТВОМ РЕАЛИЗАЦИИ КРУПНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION'S INDUSTRY THROUGH THE IMPLEMENTATION OF MAJOR INVESTMENT PROJECTS

Какаджанов В., соискатель кафедры логистики и управления ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (Казань, Россия)

Kakadzhanov V., applicant student of the Department of Logistics and Management, Kazan National Research Technological University (Kazan, Russia)

В статье представлены особенности реализации крупных инвестиционных проектов и их влияние на достижение устойчивого развития промышленности в регионах. Представлены основные виды рисков при реализации крупных инвестиционных проектов. В качестве объекта исследования в статье использован пример реализации крупного логистического проекта Республики Татарстан по строительству высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань. Выделены ключевые задачи логистики на этапе проектирования и строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали: транспортные потоки, инфраструктура, организация строительных работ, прогнозирование грузо- и пассажиропотока. Систематизированы транспортные узлы, интегрированные с высокоскоростной железнодорожной магистралью Москва – Казань. Обозначена роль государственно-частного партнерства при реализации крупных инвестиционных проектов. Сделан вывод, что высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Казань способна дать мощный импульс для развития экономики России, одновременно выступая как инструмент для достижения устойчивого развития промышленности региона.

This article presents the specifics of implementing large-scale investment projects and their impact on achieving sustainable industrial development in the regions. It also presents the key risks associated with implementing large-scale investment projects. The article examines a major logistics project in the Republic of Tatarstan, the construction of the Moscow-Kazan high-speed railway. Key logistics objectives during the design and construction of the high-speed railway are highlighted: traffic flows, infrastructure, construction management, and freight and passenger traffic forecasting. Transport hubs integrated with the Moscow-Kazan high-speed railway are systematized. The role of public-private partnerships in implementing large-scale investment projects is outlined. It is concluded that the Moscow-Kazan high-speed railway has the potential to provide a powerful impetus to Russia's economic development, while simultaneously serving as a tool for achieving sustainable industrial development in the region.

Ключевые слова: устойчивое развитие промышленности региона, крупный инвестиционный проект, транспортные потоки, высокоскоростная железнодорожная магистраль, транспаортный узел, государственно-частное партнерство..

Keywords: sustainable development of regional industry, major investment project, traffic flows, high-speed rail, transport hub, public-private partnership.

Для цитирования: Какаджанов В. Достижение устойчивого развития промышленности региона посредством реализации крупных инвестиционных проектов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 67–71.

For citation: Kakadzhanov V. Achieving sustainable development of the region's industry through the implementation of major investment projects // Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026; 4(91): 67–71. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях динамичных экономических отношений инвестиционная деятельность приобретает особое значение, выступая ключевым фактором экономического роста, технологического прогресса и повышения конкурентоспособности промышленности регионов, выступая залогом достижения устойчивого развития. Эффективное использование инвестиционных ресурсов способствует созданию новых производств, модернизации существующих, освоению инновационных технологий, что приводит к увеличению объемов выпуска продукции, повышению качества и расширению рынков сбыта.

Инвестиционный проект – это целенаправленный комплекс мероприятий, связанных с вложением инвестиционных ресурсов в создание, модернизацию или расширение основных фондов и оборотных средств с целью получения экономической выгоды в будущем. Инвестиционный проект имеет ряд характерных особенностей:

— уникальность: каждый проект обладает особыми характеристиками и требует индивидуального подхода;

— направленность на получение экономического эффекта: основная цель любого инвестиционного проекта – получение прибыли;

— ограниченность во времени: каждый проект имеет жизненный цикл от момента зарождения идеи до полного завершения проекта;

— комплексность: инвестиционный проект — сложная система взаимосвязанных мероприятий [1, 2].

При этом следует учитывать, что особенность реализации крупных инвестиционных проектов зависит от стадий (фаз) их жизненного цикла.

В жизненном цикле инвестиционного проекта выделяют три основные фазы:

1) прединвестиционная фаза: этап, на котором происходят поиск, отбор и обоснование инвестиционных идей, разрабатываются технико-экономическое обоснование и бизнес-план;

2) инвестиционная фаза: период реализации проекта, включающий строительство, монтаж оборудования, пусконаладочные работы;

3) эксплуатационная фаза: этап функционирования созданного объекта, производства продукции, получения прибыли.

С экономической точки зрения ключевым аспектом реализации крупных инвестиционных проектов является оценка их экономической эффективности, которая представляет собой процесс анализа и обоснования целесообразности вложения средств с точки зрения инвестора. Она позволяет сравнить разные варианты инвестирования, оценить их привлекательность и выбрать наиболее выгодный для реализации. Основная цель оценки эффективности – определить, насколько проект способен обеспечить достижение поставленных целей с учетом всех возможных рисков и затрат [3].

Ключевыми задачами оценки эффективности крупных инвестиционных проектов являются: определение финансовой привлекательности проекта для инвестора; сравнение различных вариантов проекта и выбор наиболее эффективного; оценка риска реализации проекта; обеспечение эффективного управления проектом в процессе его реализации.

Необходимо учитывать, что для комплексной оценки крупного инвестиционного проекта необходимо анализировать все виды эффективности с учетом интересов всех заинтересованных сторон – экономическую, экологическую, технологическую, социальную эффективность.

Крупный инвестиционный проект сопряжен с рисками, поэтому учет рисков является неотъемлемой частью оценки эффективности и позволяет снизить неопределенность при принятии решений.

Основными видами рисков при реализации крупных инвестиционных проектов являются:

— геополитический: учитывает нестабильность политической обстановки в стране или регионе, возможные изменения законодательства;

— финансовый: связан с изменениями процентных ставок, курсов валют, уровнем инфляции;

— рыночный: связан с изменениями конъюнктуры рынка, колебаниями спроса и предложения, изменениями цен на продукцию и ресурсы;

— технологический: относится к внедрению новых технологий, возможным задержкам в разработке и освоении новых продуктов;

— экологический риск: основан на возможном негативном влиянии проекта на окружающую среду [4, 5, 6].

В свете обозначенных вопросов наиболее актуальным представляется рассмотрение возможности реализации крупных инвестиционных проектов как инструментов достижения устойчивого развития промышленности.

В качестве объекта исследования в статье использован пример реализации крупного логистического проекта Республики Татарстан по строительству высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) Москва – Казань.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

Проект строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) Москва – Казань – это один из наиболее амбициозных инфраструктурных проектов России, направленный на кардинальное изменение транспортной карты страны и стимулирование социально-экономического развития обширного региона [7].

Трасса протяженностью 790 километров пройдет по территории семи субъектов Российской Федерации: Москвы, Московской, Владимирской, Нижегородской областей, а также республик Чувашия, Марий Эл и Татарстан. Вдоль линии предполагается разместить 16 станций, которые станут транспортными узлами и обеспечат скоростное железнодорожное сообщение между крупными городами.

Главным преимуществом ВСМ станет сокращение времени в пути. Если сегодня поездка на поезде из Москвы в Казань занимает около 12 часов, то после запуска ВСМ этот показатель сократится до рекордных 3,5 часа. Такое радикальное сокращение времени в пути станет мощным стимулом для развития деловых связей, культурного обмена и туризма между регионами. Но значение ВСМ не ограничивается сокращенными пассажирскими перевозками. Проект имеет логистический потенциал и способен оказать большое влияние и на грузовые перевозки.

Реализация проекта требует значительных финансовых вложений и тщательной проработки всех логистических аспектов, поскольку от эффективности логистики на этапе проектирования и строительства напрямую зависят сроки и стоимость проекта, а значит, и его инвестиционная привлекательность. Ключевыми задачами логистики на этапе проектирования являются:

1) Выбор и обоснование трассировки: определение оптимального маршрута будущей магистрали – это фундаментальная задача, от которой зависит успех всего проекта. При выборе трассировки необходимо учитывать:

— рельеф местности: строительство в условиях сложного рельефа (холмистая местность, болота, водоемы) значительно увеличивает стоимость и сроки строительства;

— геологические условия: наличие неустойчивых грунтов, сейсмическая активность региона – факторы, осложняющие строительство и повышающие его стоимость;

— плотность населения и наличие населенных пунктов: прокладывание магистрали в густонаселенных районах требует дополнительных затрат на выкуп земель и обеспечение шумозащиты;

— наличие природных и культурных объектов: трасса не должна проходить по территориям национальных парков и заповедников.

2) Проектирование инфраструктуры: не менее сложная и ответственная задача, при выполнении которой стоит разработать проекты:

— железнодорожного полотна: учесть скорость движения поездов, нагрузки на путь, климатические условия;

— искусственных сооружений: мосты, тоннели, виадуки;

— станций и вокзалов: не только объекты транспортной инфраструктуры, но и визитные карточки городов;

— систем энергоснабжения: для обеспечения высокоскоростных поездов нужны модернизированные линии электропередачи;

— систем связи и управления: требуются для безопасности движения поездов на высоких скоростях.

3) Организация строительства: залог своевременного и экономически выгодного завершения проекта, при котором нужно учесть:

— планирование работ: детальный план-график строительства;

— логистику материалов: обеспечение своевременной поставки на объекты строительства всего необходимого;

— управление персоналом: на строительстве магистрали будут заняты тысячи рабочих, которым нужно обеспечить квалификацию и создать условия труда и проживания.

После ввода в эксплуатацию ВСМ Москва – Казань пассажироперевозки станут ключевым направлением ее деятельности. Потенциал пассажиропотока на ВСМ Москва – Казань оценивается как высокий. Согласно прогнозам, к 2030 году пассажиропоток может достигнуть 18 миллионов человек в год. Успех проекта во многом будет зависеть от способности привлечь пассажиропоток из других видов транспорта и обеспечить высокий уровень сервиса, для чего нужно проработать ключевые аспекты.

4) Прогнозирование грузо- и пассажиропотока: основа для формирования оптимального графика движения поездов, определения необходимого количества подвижного состава, а также для планирования загрузки инфраструктуры. Факторы, на него влияющие:

— время в пути: сокращение времени в пути до 3,5 часа делает ВСМ конкурентоспособной альтернативой авиасообщению, особенно с учетом времени на дорогу до аэропорта и прохождения предполетных формальностей;

— рост деловой активности: запуск ВСМ будет способствовать развитию деловых связей между регионами, что приведет к увеличению количества деловых поездок.

Следовательно, строительство и запуск в эксплуатацию высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань может рассматриваться как один из ключевых инструментов для достижения устойчивого развития промышленности региона, поскольку требует концентрации усилий транспортной логистики, материально-технического снабжения, ресурсного обеспечения за счет резервов региональной промышленности. Для этого указанные направления деятельности должны быть встроены в региональную промышленную инфраструктуру, что позволит получить положительный синергетический эффект благодаря коллаборации органов государственной власти, бизнеса, институтов развития.

Эффективность реализации проекта будет зависеть от качества решения целого круга логистических задач. Среди них наиболее актуальными видятся следующие:

1) Взаимодействие с другими видами транспорта: автомобильным, воздушным, железнодорожной сетью.

2) Развитие мультимодальных перевозок: активно развивать перевозки грузов и пассажиров с использованием нескольких видов транспорта;

— единые билеты: введение единых билетов на разные виды транспорта упростит процесс планирования поездок и сделает его более привлекательным;

— сквозные тарифы: разработка сквозных тарифов на мультимодальные перевозки сделает их более конкурентоспособными.

Совокупность транспортных узлов, интегрированных с ВСМ Москва – Казань, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Транспортные узлы, интегрированные с ВСМ Москва – Казань

Источник: составлено автором

Город	Виды транспорта
Москва	Метро, автобусы, троллейбусы, трамваи, электрички, аэроэкспресс
Владимир	Автобусы, троллейбусы, электрички
Нижний Новгород	Метро, автобусы, троллейбусы, трамваи, электрички, аэроэкспресс
Чебоксары	Автобусы, троллейбусы, трамваи
Казань	Метро, автобусы, троллейбусы, трамваи

Во многих странах мира высокоскоростные магистрали уже давно стали неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры. Опыт реализации таких проектов в Китае, Японии, Франции, Германии показывает, что ВСМ способны дать значительный экономический и социальный эффект. ВСМ в других странах представлены в табл. 2.

Таблица 2

Примеры высокоскоростных железнодорожных магистралей в разных странах мира

Источник: составлено автором

Страна	Название ВСМ	Протяженность, км	Скорость, км/ч	Год запуска
Китай	Пекин – Шанхай	1318	350	2011
Япония	Токайдо Синкансэн	515	285	1964
Франция	LGV Est	300	320	2007
Германия	Кельн – Франкфурт	180	300	2002

В современных условиях важно изучить и использовать международный опыт строительства и эксплуатации ВСМ, из которого можно выделить следующие направления:

– привлечение частных инвестиций: в большинстве стран мира строительство ВСМ осуществляется с привлечением частных инвестиций на основе механизмов государственно-частного партнерства (ГЧП);

– внедрение передовых технологий: для обеспечения высокой скорости и безопасности движения необходимо использовать самые современные технологии – от систем управления движением поездов до материалов для строительства железнодорожного полотна;

– обучение персонала: для обслуживания и эксплуатации ВСМ необходимы высококвалифицированные кадры, поэтому важно создавать специализированные учебные центры и программы подготовки персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ВСМ Москва – Казань способна дать мощный импульс для развития экономики России, одновременно выступая как инструмент для достижения устойчивого развития промышленности региона. Однако успех проекта зависит не только от финансовых вложений, но и от грамотной проработки всех логистических аспектов. ВСМ должна стать неотъемлемой частью единой транспортной системы страны, эффективно взаимодействуя с другими видами транспорта, а также способствовать достижению устойчивого развития регионов, вовлеченных в данный проект.

Рецензент: Журавлева Тамара Борисовна, доктор экономических наук, профессор, ученый секретарь ФГБУ «НИЦИ» МИД России, научный сотрудник, ФГБУ «Институт стандартизации», Москва, Российская Федерация. E-mail: 195555@list.ru

Список литературы

1. Зверева А.С., Боровских Д.В., Краева В.Ю. Региональный инвестиционный проект как способ отмывания денежных средств // Актуальные вопросы современной экономики. 2024. № 4. С. 455–464.
2. Ахполова В.Б., Гогичаев Д.А. Инвестиционный проект: понятие, сущность и классификация // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 5. № 10 (151). С. 90–95.
3. Амосов А.И., Кудрявцева С.С. Эволюция развития визуально-оптического контроля в системе управле-

References

1. Zvereva A.S., Borovskikh D.V., Kraeva V.Yu. Regional'nyy investitsionnyy proekt — kak sposob otmyvaniya denezhnykh sredstv [Regional investment project as a way of money laundering]. Aktual'nye voprosy sovremennoy ekonomiki. 2024. no. 4. pp. 455–464.
2. Akhpolova V.B., Gogichaev D.A. Investitsionnyy proekt: ponyatie, sushchnost' i klassifikatsiya [Investment project: concept, essence and classification]. Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. 2024. Vol. 5, no. 10 (151). pp. 90–95.

ния качеством предприятия // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 3 (84). С. 67–74.
4. Филатов Е.А., Бояркина А.А. Факторы, влияющие на инвестиционный проект по проведению реконструкции // Приднепровский научный вестник. 2025. Т. 1. № 4. С. 11-13.
5. Халяпин А.А., Читао Д.Ю., Саввиди В.А., Зимовина Д.А., Ерохина С.А. Инвестиционный проект как инструмент повышения эффективности использования производственных ресурсов и снижения издержек // Экономика и управление: проблемы, решения. 2026. Т. 1. № 1 (166). С. 145–160.
6. Научно-технологическое развитие промышленности в условиях неопределенности внешней среды / М. А. Измайлова, А. И. Шинкевич, С. С. Кудрявцева [и др.]. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Мир науки», 2023. – 332 с.
7. Проект планировки и проект межевания территорий размещения объекта «участок Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург (ВСМ 2)». URL: http://stepancevoadm.ru/tinybrowser/files/vsm-moskva-kazan/vo_vyaznikovskiy_trassa.pdf

3. Amosov A.I., Kudryavtseva S.S. Evolyutsiya razvitiya vizual'no-opticheskogo kontrolya v sisteme upravleniya kachestvom predpriyatiya [Evolution of the development of visual-optical control in the enterprise quality management system]. Informatsionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2025. no. 3 (84). pp. 67–74.
4. Filatov E.A., Boyarkina A.A. Faktory, vliyayushchie na investitsionnyy proekt po provedeniyu rekonstruktsii [Factors affecting the investment project for reconstruction]. Pridneprovskiy nauchnyy vestnik. 2025. Vol. 1, no. 4. pp. 11–13.
5. Khalyapin A.A., Chitao D.Yu., Savvidi V.A., Zimovina D.A., Erokhina S.A. Investitsionnyy proekt kak instrument povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya proizvodstvennykh resursov i snizheniya izderzhek [Investment project as a tool to improve the efficiency of using production resources and reducing costs]. Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. 2026. Vol. 1, no. 1 (166). pp. 145–160.
6. Izmaylova M.A., Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S. et al. Nauchno-tekhnologicheskoe razvitie promyshlennosti v usloviyakh neopredelennosti vneshney sredy [Scientific and technological development of industry under conditions of external environment uncertainty]. Moscow: OOO «Izdatel'stvo "Mir nauki"», 2023. 332 p.
7. Proekt planirovki i proekt mezhevaniya territoriy razmeshcheniya ob»ekta «uchastok Moskva – Kazan' vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali Moskva – Kazan' – Ekaterinburg (VSM 2)» [Project of planning and land surveying of territories for the placement of the facility "Moscow–Kazan section of the high-speed railway Moscow–Kazan–Yekaterinburg (HSR 2)"], available at: URL: http://stepancevoadm.ru/tinybrowser/files/vsm-moskva-kazan/vo_vyaznikovskiy_trassa.pdf

УДК 621.643.2:678.8

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СИСТЕМ: ОБЗОР СВОЙСТВ, МОНИТОРИНГА И НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ*

POLYMER COMPOSITE PIPELINES FOR ARCTIC OIL FIELD SYSTEMS: REVIEW OF PROPERTIES, MONITORING AND REGULATORY FRAMEWORK

Высотин Ю.А., магистр, инженер, Научно-технологический комплекс «Новые технологии и материалы», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия)

Карпов И.Д., аспирант, инженер-исследователь, Научно-технологический комплекс «Новые технологии и материалы», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия)

В статье рассматривается проблема замены стальных промысловых трубопроводов на аналоги из полимерных композиционных материалов (ПКМ) применительно к условиям Крайнего Севера. На основе анализа публикаций систематизированы данные о механических свойствах стеклопластиков (GFRP/GRE) и термопластичных композитных труб (TCP) при температурах до −60 °C. Принципиальное преимущество ПКМ перед углеродистыми сталями – отсутствие вязко-хрупкого перехода – делает их особенно ценными для арктических условий. Выполнен сравнительный анализ по критериям коррозионной стойкости, массы, теплопроводности и стоимости жизненного цикла (LCC): расчеты показывают экономию 30–52% за 30-летний горизонт. Рассмотрены перспективные системы структурного мониторинга SHM на основе FBG-датчиков, акустической эмиссии и распределенных оптических систем. Проведен анализ российской и международной нормативной базы; выявлено, что специализированного стандарта для ПКМ-трубопроводов в условиях Крайнего Севера в мировой практике не существует. Определены три ключевых исследовательских пробела, требующих первоочередного внимания.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, стеклопластиковые трубопроводы, Крайний Север, криогенные температуры, стоимость жизненного цикла, SHM.

Для цитирования: Высотин Ю.А., Карпов И.Д. Полимерные композиционные трубопроводы для арктических нефтепромысловых систем: обзор свойств, мониторинга и нормативной базы // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4 (91). С. 72–78.

Vysotin Yu.A., M.Sc., engineer, Scientific and Technological Complex «New Technologies and Materials», Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, Russia)

Karpov I.D., postgraduate student, research engineer, Scientific and Technological Complex «New Technologies and Materials», Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, Russia)

The paper addresses the problem of replacing steel field pipelines with polymer composite material (PCM) analogues for Arctic and sub-Arctic oil field conditions. Based on a systematic literature review, data on the mechanical properties of glass-reinforced plastics (GFRP/GRE) and thermoplastic composite pipes (TCP) at temperatures down to −60 °C are systematised. The key advantage of PCMs over carbon steels is the complete absence of a ductile-to-brittle transition, which makes them especially valuable in Arctic environments. A comparative analysis is carried out by corrosion resistance, weight, thermal conductivity, and life-cycle cost (LCC) criteria: estimates indicate cost savings of 30–52% over a 30-year horizon. Structural health monitoring (SHM) systems based on FBG sensors, acoustic emission, and distributed fibre-optic sensing are reviewed. An analysis of Russian and international regulatory frameworks reveals that no specialised standard for PCM pipelines in Arctic conditions currently exists worldwide. Three critical research gaps requiring priority attention are identified.

Keywords: polymer composite materials, glass-reinforced pipelines, Arctic, cryogenic temperatures, life-cycle cost, SHM.

For citation: Vysotin Yu.A., Karpov I.D. Polymer composite pipelines for arctic oil field systems: review of properties, monitoring and regulatory framework. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026;4(91):72–78. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Протяженность промысловых трубопроводов нефтегазовой отрасли России превышает 350 тыс. км, из которых значительная часть эксплуатируется при расчетной температуре ниже −40 °C. Коррозия является причиной более 70% всех инцидентов на промысловых трубопроводах [1]. Сочетание коррозионной деградации с хладноломкостью конструкционных сталей формирует устойчивый паттерн аварийно-

* Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания «Разработка моделей деградации служебных свойств металлических и композиционных материалов для строительства в условиях многолетнемерзлых грунтов» (FSEG-2024-0009).

сти, влекущий экологический ущерб и финансовые потери, не сопоставимые со стоимостью самих конструкций.

Полимерные композиционные материалы – стеклопластики GRE/GFRP и термопластичные композитные трубы TCP – принципиально лишены коррозионных уязвимостей. Российские производители сертифицировали свою продукцию до −65 °C согласно ГОСТ Р 56277–2014[1]. Работы группы НТК «Новые технологии и материалы» совместно с Газпром нефтью подтверждают актуальность задачи: в отрасли до сих пор отсутствует единая нормативно-техническая база, регламентирующая применение ПКМ в условиях холодного климата [2]. Оценка надежности и целостности ПКМ-трубопроводов в нефтегазовом секторе является одним из наиболее активно развивающихся направлений материаловедения [3].

Цель настоящего обзора – систематизировать накопленные знания о поведении ПКМ-трубопроводов в арктических условиях и определить приоритетные направления для дальнейших исследований.

СВОЙСТВА ПКМ-ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Применяемые для арктических трубопроводов ПКМ делятся на три класса. Наиболее зрелой технологией являются термореактивные трубы GRE/GFRP на основе стекловолокна и эпоксидной матрицы с рабочим диапазоном от −65 до +110 °C [4]. Углепластиковые трубы CFRP наиболее чувствительны к термически индуцированному микротрещинообразованию вследствие значительного несоответствия коэффициентов теплового расширения волокна (~0,8·10⁻⁶/K) и эпоксидной матрицы (~55·10⁻⁶/K). Третий класс – термопластичные TCP на матрицах PEEK или PVDF – сочетает гибкость монтажа с высокой вязкостью разрушения при криогенных температурах [5].

Охлаждение GFRP-труб до арктических температур сопровождается двумя конкурирующими эффектами. С одной стороны, прочность стекловолокна при −60 °C возрастает на 10–25% [6]. С другой – полимерная матрица охрупчивается: деформация при разрушении снижается на 15–30%, а межслоевая сдвиговая прочность (ILSS) – на 5–20% [7]. В работе [8] CFRP-образцы выдержаны при −80 °C в течение 60 суток без потери прочностных характеристик, тогда как при +100 °C прочность при сжатии снизилась на 92,89%, что подтверждает пригодность углепластика именно для арктических условий.

Принципиальное отличие ПКМ от углеродистых сталей состоит в отсутствии вязко-хрупкого перехода. Сталь Ст20 при температурах ниже −40 °C резко теряет ударную вязкость; ПКМ-ламинаты лишены этого эффекта [9]. Экспериментально установлено [10], что зона ударного повреждения намотанных ±55° GFRP-труб при 77 K уменьшается по сравнению с комнатной температурой, а признаки микротрещинообразования после криогенного кондиционирования отсутствуют.

При водонасыщении 300 циклов замораживания–оттаивания снижают изгибную прочность GFRP с полиэфирной матрицей на 29%, тогда как с винилэфирной – лишь на 8% [7]. Установлено [11], что термоциклирование в диапазоне −20…+20 °C снижает модуль упругости пултрудированного GFRP примерно на 12 % после 300 циклов. Исследования [12] показали снижение прочности на 47,65% при воздействии агрессивных жидкостей и повышенных температурах, при этом при низких температурах скорость деградации значительно замедляется. Для арктических условий приоритет следует отдавать винилэфирным и эпоксидным системам с пониженным водопоглощением.

Зависимость прочностных свойств от температуры показана на рис. 1. Сводное сравнение ключевых характеристик материалов приведено в табл. 1 и на рис. 2.

[1] ГОСТ Р 56277—2014. Трубы и фитинги композитные полимерные для внутрипромысловых трубопроводов. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. 18 с.

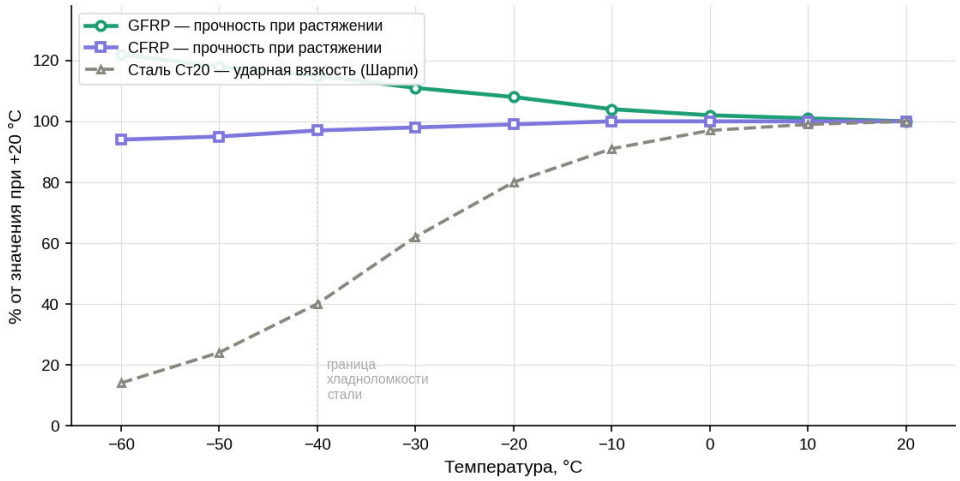


Рис. 1. Изменение прочностных свойств ПКМ и ударной вязкости стали в зависимости от температуры (% от значения при +20 °C)

Таблица 1

Сравнительные характеристики ПКМ-трубопроводов и стальных при низких температурах

Параметр	GFRP (GRE)	CFRP	TCP (PEEK)	Сталь (API 5L X52)
Плотность, кг/м³	1800–2000	1500–1600	1500–1800	7850
↑ модуля при −60 °C	10–20%	5–10%	умеренно	незначительно
Хрупкий переход	отсутствует	отсутствует	отсутствует	критич. < −40 °C
Коррозия	нет	нет	нет	нет
Теплопров., Вт/(м·К)	0,3–0,6	0,5–1,0	0,5–3,0	43–50
Масса DN200 PN16, кг/м	5–8	3–5	4–7	31–42
Срок службы, лет	50–100	30–50	50+	15–30 (агресс. среда)
Рабочая темп-ра, °C	−65…+110	−60…+150	−40…+130	−60…+450

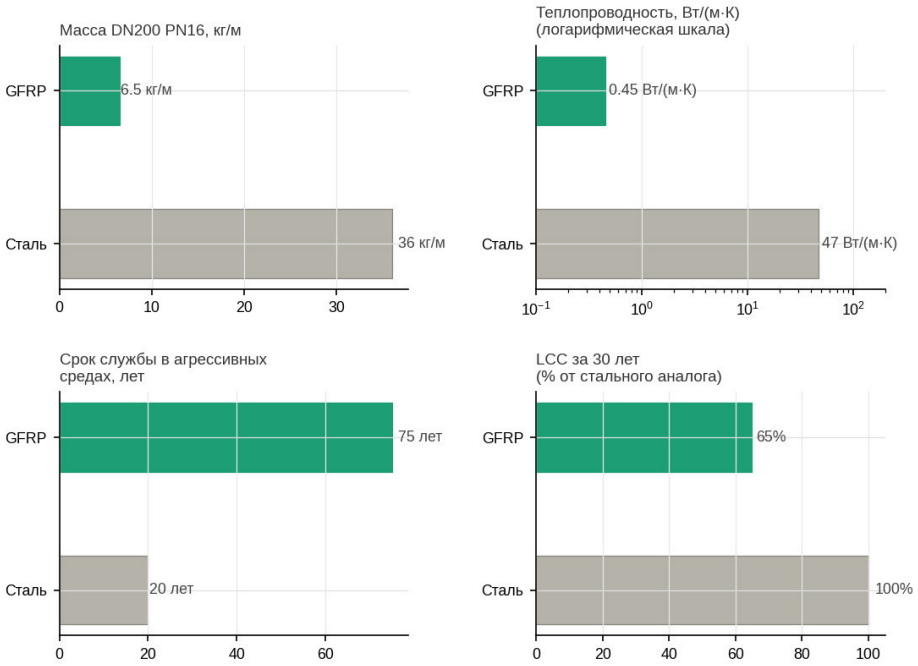


Рис. 2. Сравнение ключевых эксплуатационных параметров GFRP-трубопровода и стального аналога

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПКМ- И СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Ключевым преимуществом ПКМ-трубопроводов является полное отсутствие коррозии – как внутренней (CO_2-коррозия, сероводородное растрескивание SSC), так и наружной (электрохимическая коррозия). Это исключает необходимость в электрохимической защите (ЭХЗ), ингибиторах и защитных покрытиях, которые составляют 15–35% операционных расходов на стальные трубопроводы в арктических условиях [13].

Экономическое обоснование замены формализуется через сравнение стоимости жизненного цикла (LCC) по методу чистой приведенной стоимости (ISO 15686-5:2017). Интегральные затраты за расчетный период n лет:

$$LCC = C_{CAP} + \sum_{t=1}^{n} \frac{C_{OP}(t) + C_M(t) + C_R(t)}{(1+r)^t} + \frac{C_D}{(1+r)^n} - \frac{V_S}{(1+r)^n} \quad (1)$$

где C_{CAP} – капитальные затраты; $C_{OP}(t)$ – операционные затраты; $C_M(t)$ – техническое обслуживание и ремонт; $C_R(t)$ – реабилитация; C_D – демонтаж; V_S – ликвидационная стоимость; r – ставка дисконтирования; n – период анализа.

Для ПКМ слагаемое СМ фактически равно нулю на весь расчетный срок – отсутствуют затраты на ЭХЗ и антикоррозионные мероприятия. По данным работы [14], при горизонте 60 лет суммарный LCC GRP-трубопровода на 16,3% ниже стального аналога; в арктических условиях экономия достигает 30–52% [15]. Структура затрат за 30 лет (r = 5 %, n = 30) представлена в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 2

Сравнительная структура LCC стального и GFRP-трубопровода DN200 за 30 лет

Статья затрат	Сталь, % LCC	GFRP, % LCC	Примечание
Капитальные затраты	30	43	CAPEX GFRP выше на ~40%
Монтаж	8	9	Сопоставимы
Эксплуатация	20	31	Больше доля при меньшей базе
ЭХЗ и антикоррозионная защита	22	0	Ключевое преимущество ПКМ
ТО и ремонт	14	11	Ниже частота аварий
Ликвидация	6	6	Сопоставимы
Итого LCC	**100%**	**~65%**	**Экономия ~35%**

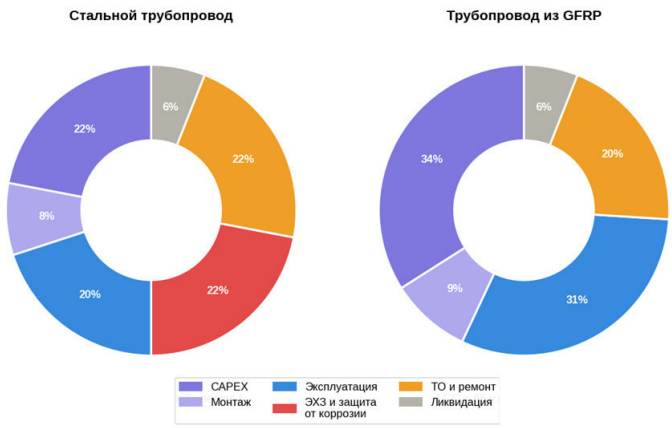


Рис. 3. Структура стоимости жизненного цикла (LCC) стального и GFRP-трубопровода за 30 лет

Теплопроводность GFRP (0,3–0,6 Вт/(м·К)) в 80–100 раз ниже углеродистой стали (43–50 Вт/(м·К)), что снижает теплопотери при транспортировке горячих сред и уменьшает тепловое воздействие трубопровода на вечномерзлые грунты. Снижение массы в 4–7 раз критически важно для логистики в труднодоступных арктических районах. Сварка стали при −40 °C без обогреваемых укрытий практически невозможна; соединения ПКМ выполняются муфтовым способом без нагрева, что обеспечивает скорость монтажа DN200 до 1200 м/сутки – в 3–4 раза выше. Опыт применения бандажных ремонтных систем показал экономию 24% по сравнению со сварными муфтами [15].

СИСТЕМЫ СТРУКТУРНОГО МОНИТОРИНГА И НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

ПКМ-трубопроводы не поддаются диагностике традиционными внутритрубными инспекционными снарядами, что обусловливает первостепенную роль систем структурного мониторинга (Structural Health Monitoring, SHM). Концептуальная архитектура предлагаемой мультимодальной SHM-системы показана на рис. 4. Обзор методов неразрушающего контроля для ПКМ-трубопроводов [16] подтверждает, что ни одна из существующих технологий в полной мере не решает задачу комплексного мониторинга.

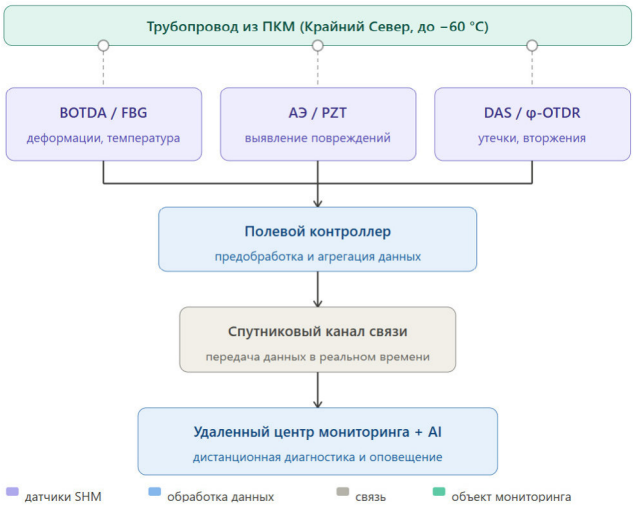


Рис. 4. Концептуальная архитектура мультимодальной SHM-системы для арктического ПКМ-трубопровода

FBG-датчики (волоконно-оптические решетки Брэгга) работоспособны при криогенных температурах вплоть до 4,2 К. В работе [17] разработана SHM-система для BFRP-трубопроводов на основе FBG и нейронной сети ECNN со средней ошибкой прогноза 0,093%; комплексный обзор применения FBG для мониторинга композитных конструкций [18] подтверждает применимость технологии в широком температурном диапазоне. Квазираспределенные FBG-массивы применены при замене стальных трубопроводов на CFRP [19]. PZT-датчики акустической эмиссии (АЭ) обеспечивают идентификацию механизмов разрушения и стабильны в арктическом диапазоне [20]. Для протяженных трубопроводов особенно перспективны распределенные системы BOTDA/BOTDR (дальность – до 100 км)

и DAS на основе φ-OTDR для мониторинга утечек – пассивное волокно не требует питания вдоль трассы, что критически важно для удаленных объектов Крайнего Севера.

В части нормативного регулирования: ГОСТ Р 56277–2014 устанавливает рабочий диапазон для композитных труб от −65 до +90 °C; ГОСТ Р 59411–2021[2] регламентирует проектирование стеклопластиковых трубопроводов DN 50–450 и давлением до 21 МПа. Международный стандарт ISO 14692:2017 регулирует GRP-трубопроводы нефтегазовой промышленности без арктической специфики; DNV-ST-F119 – единственный стандарт, явно требующий испытаний TCP при минимальной проектной температуре. ISO/TS 35105:2018 – арктический стандарт – ориентирован исключительно на металлы. По оценке авторов работы [2], отсутствие специализированного стандарта для ПКМ-трубопроводов в условиях Крайнего Севера является главным барьером для их массового внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПКМ-трубопроводы (GRE/GFRP и TCP) технологически готовы к широкому применению в условиях Крайнего Севера. Принципиальные преимущества перед сталью – отсутствие хрупкого перехода, защита от коррозии, масса в 4–7 раз меньше и теплопроводность на два порядка ниже – особенно ценны в арктических условиях. Оценка по формуле (1) показывает снижение LCC на 30–52% за 30-летний горизонт.

Три наиболее критичных исследовательских пробела: (1) отсутствие данных о долгосрочном ресурсе GRE-труб при синергетическом воздействии «арктической триады» – давление, водонасыщение и термоциклирование одновременно; (2) неудовлетворительные эксплуатационные характеристики муфтовых и клеевых соединений при −40…−60 °C остаются неизученными и ненормированными; (3) отсутствие комплексной SHM-системы, адаптированной к условиям удаленных арктических объектов.

Первоочередная задача технического регулирования – разработка отечественного стандарта «Полимерные ко позитные трубопроводы для условий Крайнего Севера» по аналогии с ISO/TS 35105:2018. Исследования СПбПУ Петра Великого [2], [21] создают для этого необходимый научный задел.

***Рецензент: Будкин Юрий Валерьевич**, доктор технических наук, профессор, директор научного центра, ФГБУ «Институт стандартизации», Москва, Российская Федерация. E-mail: y.v.budkin@gostinfo.ru*

[2] ГОСТ Р 59411–2021. Трубопроводы промысловые из стеклопластиковых труб. Правила проектирования и эксплуатации. М.: Стандартинформ, 2021. 56 с.

Список литературы

1. Ростехнадзор. Отчет о деятельности за 2022 год. – М., 2023. – 214 с.
2. Ровбо А.С., Ермаков С.Б., Карпов И.Д. и др. Оценка возможности замены стальных элементов обустройства на элементы обустройства из ПКМ для производственных процессов на объектах нефтедобычи // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 130–135. – URL: https://proneft.elpub.ru/jour/article/view/530
3. Bahaman U.S.F. et al. Evaluating the reliability and integrity of composite pipelines in the oil and gas sector: A scientometric and systematic analysis // Ocean Engineering. – 2024. – Vol. 303. – Art. 117773. – URL: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117773
4. Alabtah F.G., Mahdi E., Eliyan F.F. The use of fiber reinforced polymeric composites in pipelines: A review // Composite Structures. – 2021. – Vol. 276. – P. 114595. – URL: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114595
5. Okolie O. et al. Manufacturing Defects in Thermoplastic Composite Pipes and Their Effect on in-situ Performance // Applied Composite Materials. – 2023. – Vol. 30. – P. 231–260. – URL: https://doi.org/10.1007/s10443-022-10066-9

References

1. Rostekhnadzor. Otchet o deyatel'nosti za 2022 god [Activity Report 2022]. Moscow, 2023, 214 p. (In Russian)
2. Rovbo A.S., Ermakov S.B., Karpov I.D. et al. Otsenka vozmozhnosti zameny stal'nykh elementov obustrojstva na elementy iz PKM [Assessment of feasibility of replacing steel components with PCM]. PRONEFT'. Professional'no o nefti, 2024, vol. 9, no. 2, pp. 130–135, available at: https://proneft.elpub.ru/jour/article/view/530
3. Bahaman U.S.F. et al. Evaluating the reliability and integrity of composite pipelines in the oil and gas sector. Ocean Engineering, 2024, vol. 303, art. 117773. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117773
4. Alabtah F.G., Mahdi E., Eliyan F.F. The use of fiber reinforced polymeric composites in pipelines: A review. Composite Structures, 2021, vol. 276, p. 114595. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114595
5. Okolie O. et al. Manufacturing Defects in Thermoplastic Composite Pipes. Applied Composite Materials, 2023, vol. 30, pp. 231–260. https://doi.org/10.1007/s10443-022-10066-9

6. Bazli M., Abolfazli M. Mechanical Properties of Fibre Reinforced Polymers under Elevated Temperatures: An Overview // Polymers. – 2020. – Vol. 12(11), 2600. – URL: https://doi.org/10.3390/polym12112600
7. Correia J.R. et al. Freeze-thaw durability of vacuum infused glass fibre composites with unsaturated polyester and vinyl ester matrices // Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 455. – Art. 139125. – URL: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139125
8. Tefera G., Adali S., Bright G. Mechanical behaviour of CFRP composite material at different temperatures // Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2022. – URL: https://doi.org/10.1177/09673911221125072
9. Ohaeri E.G., Szpunar J.A. An overview on pipeline steel development for cold climate applications // Journal of Pipeline Science and Engineering. – 2022. – Vol. 2. – P. 1–17. – URL: https://doi.org/10.1016/j.jpse.2022.01.003
10. Kara M., Arat M., Uyaner M. Low velocity impact response and damages of GFRP composite tubes under room and cryogenic temperatures // Journal of Composite Materials. – 2021. – Vol. 55(24). – P. 3567–3577. – URL: https://doi.org/10.1177/00219983211029368
11. Grammatikos S.A. et al. Thermal cycling effects on the durability of a pultruded GFRP material for off-shore civil engineering structures // Composite Structures. – 2016. – Vol. 153. – P. 297–310. – URL: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.06.037
12. Portoacă A.-I. et al. Assessment of Environmental Impact on Glass-Fiber-Reinforced Polymer Pipes Mechanical and Thermal Properties // Polymers. – 2024. – Vol. 16(13), 1779. – URL: https://doi.org/10.3390/polym16131779
13. Prabhakar M.M. et al. An overview of burst, buckling, durability and corrosion analysis of lightweight FRP composite pipes // Composite Structures. – 2019. – Vol. 230, 111419. – URL: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111419
14. Elsebaie I.H., Al-Khomairi A. Optimization of pipeline lifecycle cost using alternatives with different life spans // Water Supply. – 2022. – Vol. 22(2). – P. 1835–1847. – URL: https://doi.org/10.2166/ws.2021.305
15. Dumitrescu A. et al. Corrosion Repair of Pipelines Using Modern Composite Materials Systems // Energies. – 2021. – Vol. 14(3), 615. – URL: https://doi.org/10.3390/en14030615
16. Ibrahim M.E. et al. Composite Pipelines: Analyzing Defects and Advancements in Non-Destructive Testing Techniques // Engineering Failure Analysis. – 2024. – Vol. 157. – Art. 107917. – URL: https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107917
17. Altabey W.A. et al. Structural Health Monitoring of Composite Pipelines Utilizing Fiber Optic Sensors and an AI-Based Algorithm // Sensors. – 2023. – Vol. 23(8), 3887. – URL: https://doi.org/10.3390/s23083887
18. Güemes A. et al. Structural Health Monitoring in Composite Structures by Fiber-Optic Sensors //

6. Bazli M., Abolfazli M. Mechanical Properties of Fibre Reinforced Polymers under Elevated Temperatures. Polymers, 2020, vol. 12(11), 2600. https://doi.org/10.3390/polym12112600
7. Correia J.R. et al. Freeze-thaw durability of vacuum infused glass fibre composites. Construction and Building Materials, 2024, vol. 455, art. 139125. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139125
8. Tefera G., Adali S., Bright G. Mechanical behaviour of CFRP at different temperatures. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2022. https://doi.org/10.1177/09673911221125072
9. Ohaeri E.G., Szpunar J.A. An overview on pipeline steel development for cold climate applications. Journal of Pipeline Science and Engineering, 2022, vol. 2, pp. 1–17. https://doi.org/10.1016/j.jpse.2022.01.003
10. Kara M., Arat M., Uyaner M. Low velocity impact response of GFRP tubes at cryogenic temperatures. Journal of Composite Materials, 2021, vol. 55(24), pp. 3567–3577. https://doi.org/10.1177/00219983211029368
11. Grammatikos S.A. et al. Thermal cycling effects on the durability of a pultruded GFRP material. Composite Structures, 2016, vol. 153, pp. 297–310. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.06.037
12. Portoaca A.-I. et al. Assessment of Environmental Impact on GFRP Pipes Properties. Polymers, 2024, vol. 16(13), 1779. https://doi.org/10.3390/polym16131779
13. Prabhakar M.M. et al. An overview of burst, buckling, durability and corrosion of FRP pipes. Composite Structures, 2019, vol. 230, 111419. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111419
14. Elsebaie I.H., Al-Khomairi A. Optimization of pipeline lifecycle cost. Water Supply, 2022, vol. 22(2), pp. 1835–1847. https://doi.org/10.2166/ws.2021.305
15. Dumitrescu A. et al. Corrosion Repair of Pipelines Using Composite Materials Systems. Energies, 2021, vol. 14(3), 615. https://doi.org/10.3390/en14030615
16. Ibrahim M.E. et al. Composite Pipelines: Analyzing Defects and Advancements in NDT Techniques. Engineering Failure Analysis, 2024, vol. 157, art. 107917. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107917
17. Altabey W.A. et al. SHM of Composite Pipelines Utilizing Fiber Optic Sensors and AI. Sensors, 2023, vol. 23(8), 3887. https://doi.org/10.3390/s23083887
18. Güemes A. et al. Structural Health Monitoring in Composite Structures by Fiber-Optic Sensors. Sensors, 2018, vol. 18(4), art. 1094. https://doi.org/10.3390/s18041094
19. Wang H.-P. et al. Dynamic Performance Detection of CFRP Pipes via FBG Sensing. Frontiers in Materials, 2021, vol. 8, 683374. https://doi.org/10.3389/fmats.2021.683374
20. Hasani S. et al. Acoustic Emission-Based Analysis of Damage in FRP Tubes. Sensors, 2023, vol. 23(15), 6994. https://doi.org/10.3390/s23156994

Sensors. – 2018. – Vol. 18(4). – Art. 1094. – URL: https://doi.org/10.3390/s18041094
19. Wang H.-P. et al. Dynamic Performance Detection of CFRP Composite Pipes based on Quasi-Distributed Optical Fiber Sensing Techniques // Frontiers in Materials. – 2021. – Vol. 8, 683374. – URL: https://doi.org/10.3389/fmats.2021.683374
20. Hasani S. et al. Acoustic Emission-Based Analysis of Damage Mechanisms in Filament Wound FRP Composite Tubes // Sensors. – 2023. – Vol. 23(15), 6994. – URL: https://doi.org/10.3390/s23156994
21. Nekliudova E.A., Semenov A.S., Melnikov B.E., Semenov S.G. Experimental research and finite element analysis of elastic and strength properties of fiberglass composite material // Magazine of Civil Engineering. – 2014. – № 3(47). – P. 25–39. – URL: https://doi.org/10.5862/MCE.47.3

21. Nekliudova E.A., Semenov A.S., Melnikov B.E., Semenov S.G. Experimental research and FE analysis of fiberglass properties. Magazine of Civil Engineering, 2014, no. 3(47), pp. 25–39. https://doi.org/10.5862/MCE.47.3

УДК 502.51:006.354

ВЕРОЯТНОСТНО-ОБОСНОВАННОЕ НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД: ИНТЕГРАЦИЯ ОЦЕНКИ МОДЕЛЕЙ, ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА И ИИ-ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНДАРТОВ

PROBABILITY-BASED STANDARDIZATION OF NATURAL WATER QUALITY: INTEGRATING MODEL EVALUATION, OPERATIONAL FORECASTING, AND AI-DRIVEN STANDARDS DESIGN

Самбурский А.Г., аспирант, Институт водных проблем РАН (Москва, Россия)

Розенталь О.М., главный научный сотрудник, Институт водных проблем РАН (Москва, Россия)

Действующая система нормирования качества природных вод, опирающаяся на детерминированные предельно допустимые концентрации, не учитывает ни природной вариабельности гидрохимических показателей, ни погрешности их измерения, ни экономических последствий ошибочных решений о соответствии. В работе обоснован переход к вероятностно-обоснованному, риск-ориентированному нормированию, которое опирается на доверительные интервалы измерений и допустимый уровень экологического риска вместо жестких порогов. Методологической основой такого перехода служат три разрабатываемые авторами концепции национальных стандартов – общей оценки качества гидрологических и гидрохимических прогнозов, краткосрочного оперативного прогнозирования на горизонт 6 часов и проектирования водно-экологических стандартов с применением методов искусственного интеллекта. Показано, что их интеграция позволяет одновременно повысить достоверность контроля, снизить необоснованные эколого-экономические издержки природопользователей и сформировать правовую основу для перехода к обслуживанию водоочистных устройств по фактическому состоянию. Внедрение предложенного подхода создает условия для гармонизации отечественной практики с международными документами WMO, ISO и EU WFD при сохранении национальной специфики.

Ключевые слова: стандартизация качества воды, ПДК, экологический риск, неопределенность измерений, искусственный интеллект, временные ряды, объяснимый ИИ, обслуживание по состоянию, водно-экологический стандарт.

Для цитирования: Самбурский А.Г., Розенталь О.М. Вероятностно-обоснованное нормирование качества природных вод: интеграция оценки моделей, оперативного прогноза и ИИ-проектирования стандартов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 79–87.

Благодарности: Работа выполнена в рамках темы «Исследования процессов формирования качества поверхностных и подземных вод, природных и антропогенных механизмов изменения экологического состояния водных объектов, разработка методов и технологий управления водными ресурсами и качеством вод» (FMWZ-2025-0002).

Samburskiy A.G., postgraduate student, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Rozental O.M., chief researcher, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

The current system of natural water quality standardization, based on deterministic maximum permissible concentrations, accounts neither for the natural variability of hydrochemical indicators, nor for measurement uncertainty, nor for the economic consequences of erroneous compliance decisions. The paper substantiates a transition to probability-based, risk-oriented standardization that relies on confidence intervals of measurements and an acceptable level of environmental risk instead of rigid thresholds. The methodological basis for this transition is provided by three national standard concepts being developed by the authors: general quality assessment of hydrological and hydrochemical forecasts, short-term operational forecasting with a 6-hour horizon, and the design of water-environmental standards using artificial intelligence methods. It is shown that their integration makes it possible to simultaneously improve the reliability of control, reduce unjustified environmental and economic costs incurred by water users, and form a legal basis for the transition to condition-based maintenance of water treatment facilities. The implementation of the proposed approach creates conditions for harmonizing national practice with international documents of the WMO, ISO, and the EU WFD while preserving national specificity.

Keywords: water quality standardization, maximum permissible concentration (MPC), environmental risk, measurement uncertainty, artificial intelligence, time series, explainable AI, condition-based maintenance, water-environmental standard.

For citation: Samburskiy A.G., Rozental O.M. Probability-Based Standardization of Natural Water Quality: Integrating Model Evaluation, Operational Forecasting, and AI-Driven Standards Design. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026;4(91): 79–87. (In Russ.)

Gratitude: This work was carried out as part of the research topic "Studies of the processes shaping the quality of surface and groundwater; natural and anthropogenic mechanisms affecting the ecological status of water bodies; and the development of methods and technologies for managing water resources and water quality." (FMWZ-2025-0002).

ВВЕДЕНИЕ

Принятая в Российской Федерации и значительной части других государств система оценки качества природных вод опирается на концепцию предельно допустимых концентраций (ПДК) – числовых порогов, фиксированных для отдельных веществ и единых для всего разнообразия водных объектов и условий водопользования[1,2]. Эта концепция возникла в середине XX века как ответ на запрос санитарно-гигиенической службы и была выстроена под технические возможности своего времени: единичные плановые отборы проб, лабораторный анализ с многосуточной задержкой, отсутствие непрерывного мониторинга. За прошедшие десятилетия технологическая база радикально изменилась – появились автоматические станции с часовым шагом дискретизации, методы анализа временных рядов и машинного обучения, вычислительные мощности для построения цифровых двойников водных объектов, однако сама концепция нормирования осталась прежней. Это создало накапливающийся разрыв между технической готовностью к адаптивному управлению и нормативной базой, фиксирующей статичную картину[3].

Наиболее существенные внутренние противоречия детерминированного нормирования сводятся к следующим:

– **природная вариабельность игнорируется по построению.** Концентрации растворенного кислорода, аммония, нитратов, мутность являются нестационарными случайными процессами с выраженной суточной, сезонной и паводковой динамикой [1]. Сравнение единичного измерения с фиксированной ПДК не учитывает, что в иной момент времени тот же показатель того же объекта мог бы быть ниже норматива в несколько раз;

– **погрешность измерения не входит в правоприменительное решение.** В судебной и контрольной практике измеренная концентрация принимается как истинное значение. При типовой относительной погрешности δ = 30–50%, характерной для гидрохимических измерений[4], это допущение приводит к систематическому завышению вероятности признания нарушения там, где истинное значение находится в пределах норматива;

– **цель «нулевого вреда» технически недостижима.** Любая хозяйственная деятельность сопряжена с ненулевым риском воздействия на водную экосистему, и попытка достичь абсолютной безопасности приводит либо к экономически нереализуемым требованиям, либо – что наблюдается на практике – к систематической недоказуемости нарушений в суде.

Совокупность этих противоречий иллюстрируется простым численным примером. Пусть для некоторого загрязняющего вещества X (железо, марганец) установлен норматив ПДК = 50 мг/л, а измеренная по методике с относительной погрешностью δ = 50% концентрация составила C = 70 мг/л. Нижняя граница доверительного интервала для истинной концентрации составляет тогда 70 × (1-0,5) = 35 мг/л, то есть оказывается ниже норматива. Вероятность того, что решение о признании нарушения окажется ошибочным, достигает 27%, иными словами, примерно каждое четвертое такое решение лишено достаточного метрологического обоснования. На макроэкономическом уровне это означает значительный объем необоснованных платежей за сверхнормативные сбросы при одновременной систематической недоказуемости реальных нарушений в делах со слабой метрологической базой.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПЕРЕХОД ОТ ЗАПРЕТНОГО ПОРОГА К ПРИЕМЛЕМОМУ РИСКУ

В теории надежности технических систем понятие приемлемого риска используется не одно десятилетие – это уровень вероятности нежелательного события, признаваемый оправданным с учетом экономических, технологических и социальных факторов [2]. Применительно к природопользованию риск-ориентированный подход формализован в стандартах серии «Менеджмент риска» (ГОСТ Р ИСО 31000)[5], однако в практике экологического нормирования он применяется ограниченно и преимущественно декларативно.

Содержательное наполнение перехода от ПДК к риску предложено в работе [3] и состоит во введении явной вероятностной интерпретации соответствия. В сущности, при учете погрешности измерения, истинное значение показателя находится в диапазоне, обусловленном аналитической погрешностью измерения. Тогда математическое выражение выглядит следующим образом: пусть C_{m} – измеренная концентрация, δ – относительная погрешность измерения, n – число измерений. Истинное значение ($Сист$) с соответствующей погрешности средства измерения доверительной вероятностью P лежит в интервале:

$$Сист \in [C_{\text{m}}(1 - \delta / \sqrt{n});\ C_{\text{m}}(1 + \delta / \sqrt{n})].$$

Решение о нарушении ПДК принимается только в случае, если нижняя граница доверительного интервала превышает норматив. В противном случае фиксируется недоказанность нарушения, что соответствует принципу презумпции экологической невиновности и распространяет на

[1] Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
[2] Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ.
[3] ГОСТ Р ИСО 14001—2016 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. – М.: Стандартинформ, 2016. – 39 с.
[4] ГОСТ 33044—2014. Принципы надлежащей лабораторной практики. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.
[5] ГОСТ Р ИСО 31000—2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – М.: Стандартинформ, 2020. –19 с.

природоохранные правоотношения общую правовую логику доказывания.

Для равномерного распределения концентрации на интервале неопределенности риск ошибочного решения r выражается формулой:

$$r = \left[C - \text{ПДК} + \frac{C\delta}{\sqrt{n}}\right] / \left[\frac{2C\delta}{\sqrt{n}}\right].$$

Численные значения риска для различных соотношений измеренной концентрации и норматива при двух типовых уровнях погрешности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вероятность (риск r) ошибочного решения о соответствии нормативу в зависимости от измеренной концентрации и погрешности измерений (при n = 1)

Концентрация загрязняющего вещества в долях ПДК	Вероятность ошибки r, % (δ = 30%)	Вероятность ошибки r, % (δ = 40%)
1,00	50,0	50,0
0,95	41,0	43,0
0,90	31,0	36,0
0,85	21,0	28,0
0,80	8,0	19,0
0,78	3,0	14,7
0,75	–	8,0
0,72	–	1,4

Пояснение к табл. 1. Расчет выполнен для случая, когда измеренное значение концентрации находится ниже ПДК, но верхняя граница доверительного интервала с учетом погрешности δ может превышать норматив. Риск r – это вероятность того, что вынесенное решение о «соответствии нормативу» окажется ошибочным, то есть истинная концентрация фактически превышает ПДК. При С/ПДК = 0,80 и δ = 30% риск составляет 8%, а при δ = 40% – уже 19%. При С/ПДК = 0,95 риск превышает 40% независимо от погрешности. Учет погрешности существенно меняет правоприменительную практику – зона недоказанности нарушения простирается значительно ниже формального норматива, и игнорирование этой зоны эквивалентно произвольной оценке доказательств.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ И ПРОГНОЗОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Реализация риск-ориентированного нормирования на начальном этапе требует трех взаимодополняющих нормативных документов: общего стандарта оценки качества прогнозных моделей, отраслевого стандарта оперативного контроля и стандарта проектирования адаптивных нормативов на основе данных. В ИВП РАН разработаны три соответствующие концепции национальных стандартов, образующие взаимосвязанную серию и охватывающие полный цикл – от методологической рамки оценки моделей до их применения в режиме реального времени и до формирования самих нормативных значений.

Общая оценка качества гидрологических и гидрохимических прогнозов

Первая из разработанных концепций устанавливает унифицированный набор статистических метрик для количественной оценки соответствия наблюдаемых и моделируемых величин – расхода, уровня воды, концентраций загрязняющих веществ. Ее область применения охватывает калибровку и валидацию прогнозов, сравнение альтернативных методов, документирование качества прогнозов в научных публикациях и прикладных отчетах, а также установление единых критериев приемлемости прогноза для практического использования.

Обязательный набор метрик включает MAE (средняя абсолютная ошибка), MAPE (средняя относительная ошибка), RMSE (среднеквадратичная ошибка), R^2, NSE (коэффициент Нэша-Сатклиффа), KGE (коэффициент Клинга-Гупты) и PBIAS (процентное смещение) [4]. Принципиально, что ни одна из метрик не используется изолированно: интерпретация качества модели всегда комплексная. Когда значения MAE, MAPE и RMSE позволяют увидеть общую картину качества прогноза, остальные параметры позволяют точнее определить точность модели: высокое значение R^2 при значимом PBIAS указывает на хорошую корреляцию при систематическом смещении; низкий NSE при умеренном KGE – на проблему с воспроизведением дисперсии при сохранении общей формы ряда. Для гидрохимических показателей концепция допускает менее строгие пороги по сравнению с расходом воды, что отражает объективно бóльшую неопределенность измерений концентраций. Шкалы качества по NSE и KGE: значения $\geqslant$ 0,4–0,5 соответствуют категории «удовлетворительно», $\geqslant$ 0,6–0,7 – «хорошо», $\geqslant$ 0,75 – «очень хорошо». Для PBIAS типичные пороги составляют ±10–20% для расходов и осадков и ±20–30% для концентраций [4].

Существенно требование о раздельном расчете метрик по временным масштабам – суточному, месячному, годовому. Модель, удовлетворительная на годовом масштабе, может оказаться непригодной для оперативных решений на суточном; обратная ситуация также встречается. Обязательно и условие синхронизации временных меток наблюдений и прогнозов – при автоматическом сборе данных это нетривиальная задача, поскольку датчики разных производителей могут использовать различные часовые пояса и форматы временных меток.

Практический пример. При моделировании мутности воды по результатам валидации получены MAE = 0,3 мг/л,

MAPE = 7%, RMSE = 0,45 мг/л, R^2(NSE) = 0,8, KGE = 0,84, PBIAS = 2% – модель признается «хорошей». Для расхода воды модель ARIMA дала MAE = 50 м³/с, MAPE = 10%, RMSE = 200 м³/с, NSE = 0,56 – это соответствует категории «удовлетворительно». Принципиально, что одинаковое значение MAPE = 7–10% приводит к разной классификации в зависимости от типа показателя.

Оперативный контроль и краткосрочный прогноз на горизонт 6 часов

Вторая концепция детализирует общие положения применительно к практически наиболее востребованной задаче – краткосрочному прогнозу гидрохимических показателей на горизонт 6 часов при шаге дискретизации 1 час. Выбор горизонта продиктован минимальным технологическим резервом для принятия управленческих решений на объектах водоснабжения и водоподготовки: дозирование реагентов, корректировка схемы обработки, оповещение дежурного персонала, диспетчерское управление водозабором.

Стандарт устанавливает минимальный перечень контролируемых показателей класса I (температура, pH – обратный логарифм концентрации растворенных ионов водорода, растворенный кислород, электропроводность, мутность, окислительно-восстановительный потенциал) и регламентирует периодичность измерений (1 раз в час, при необходимости с агрегацией более частых данных через простое среднее, за исключением pH, для которого агрегация проводится через среднее значение концентрации ионов водорода). Допустимый пропуск данных не должен превышать 5% за любой скользящий период длиной 30 суток.

В качестве рекомендуемых статистических моделей концепция называет:

– ARIMA (p – порядок авторегрессии, d – порядок интегрирования, q – порядок скользящего среднего) – для одномерных рядов без выраженной сезонности; рекомендуемые порядки p = 1–3, d = 0–1, q = 1–2 [5];

– SARIMA $(p, d, q)(\mathrm{P}, \mathrm{D}, \mathrm{Q})\mathrm{s}$ с сезонным периодом s = 24 для учета суточного цикла; недельная сезонность (s = 168) при h = 6 ч практически не улучшает прогноз и не рекомендуется [5];

– ARFIMA – для временных рядов с длинной памятью (ряды, где последующие значения существенно зависят от предыдущих. Примеры в гидрохимии: нитраты, общее органическое вещество);

– метод Хольта–Уинтерса (аддитивная форма) с параметрами α (сглаживание уровня – насколько быстро обновляется оценка текущего скользящего среднего) = 0,3–0,7, β (сглаживание тренда – насколько быстро модель обновляет оценку тренда ряда) = 0,01–0,1, γ (сглаживание сезонной компоненты – насколько быстро модель пересматривает форму сезонного цикла) = 0,1–0,3 [1];

– Prophet – с обязательным включением ежедневной сезонности и отключением годовой и недельной сезонностей при горизонте 6 ч [6].

Принципиальное требование – раздельный расчет метрик качества для каждого из шести шагов h = 1, …, 6 ч. Это вытекает из объективного нарастания ошибки прогноза с горизонтом, и оценка по среднему значению по всем шагам маскирует существенные различия в применимости модели для оперативных тревог (h = 1–2 ч) и превентивного управления (h = 5–6 ч). Концепция устанавливает четыре класса качества прогноза с дифференцированными по горизонту порогами (табл. 2).

В режиме штатной эксплуатации концепция предусматривает непрерывный мониторинг качества прогноза с обязательным переобучением модели по триггерам: превышение MAPE на шаге h = 1 ч порога 5% за последние 24 ч, превышение MAPE на шаге h = 6 ч порога 15%, отклонение R^2 на скользящем окне 48 ч ниже 0,70 для h = 6 ч, нарушение условий теста Льюнга–Бокса на остатках (p-value < 0,05). Переобучение выполняется методом скользящего окна (рекомендуемая длина 168–720 ч); полная переидентификация структуры модели – не реже одного раза в 30 суток или при срабатывании двух и более триггеров за 24 ч. Для устойчивости 6-часового прогноза рекомендуется ансамблирование двух лучших моделей с весами, обратно пропорциональными RMSE на соответствующем шаге.

Таблица 2

Классы качества краткосрочного прогноза

Класс качества	MAPE при h = 1–2 ч	MAPE при h = 3–4 ч	MAPE при h = 5–6 ч	R^2 (шаги 1–6)
Отличный	< 3%	< 5%	< 8%	> 0,95
Хороший	3–5%	5–10%	8–15%	0,85–0,95
Приемлемый	5–10%	10–15%	15–20%	0,70–0,85
Неудовлетворительный	> 10%	> 15%	> 20%	< 0,70

Проектирование водно-экологических стандартов с применением искусственного интеллекта (ИИ)

Третья концепция завершает иерархию и регламентирует наиболее сложную задачу – формирование самих нормативных значений на основе данных. Она применима, когда традиционная схема установления ПДК для отдельного вещества по результатам токсикологических испытаний оказывается недостаточной: для водных объектов с выраженной пространственно-временной неоднородностью, для приоритетных загрязнителей нового поколения (антибиотики, микропластик, фармацевтические препараты), для интегральных индексов качества воды (WQI).

Концепция формализует семь принципов, которым должна удовлетворять любая методика проектирования нормативов с применением ИИ:

– **научная обоснованность** – модели и методы должны иметь подтвержденное научное обоснование, а не подбираться эмпирически под желаемый результат;

– **объективность** – параметры моделей и весовые коэффициенты определяются на основе данных, а не экспертного мнения; экспертные оценки допускаются только в качестве дополнения с документальным обоснованием;

– **воспроизводимость** – фиксация версий программного обеспечения, значений случайного начального состояния (random seed), полного набора гиперпараметров, процедуры разделения данных на выборки; для стохастических моделей – указание доверительных интервалов на основе не менее 10 запусков с разными значениями случайного состояния;

– **прозрачность** – методология и исходные данные должны быть доступны для независимой верификации;

– **объяснимость (XAI – объяснимый искусственный интеллект)** – применение моделей типа «черный ящик» при проектировании водно-экологических стандартов не допускается; обязательны методы локальной интерпретации прогнозов, количественно оценивающие вклад каждого входного фактора в результат, а также анализ важности признаков, частичные зависимости, для нейросетевых моделей – анализ внимания;

– **адаптивность** – плановый пересмотр стандарта не реже одного раза в 5 лет; внеплановый – при существенных изменениях состояния водного объекта, появлении новых научных данных или выявлении систематических расхождений между прогнозами модели и фактическими данными мониторинга;

– **риск-ориентированность** – установление нормативов исходя из приемлемого уровня экологического риска, дифференцированного по назначению водного объекта (питьевое водоснабжение, рыбохозяйственный объект, рекреационная зона) и по экологической ценности участка.

Концепция также предписывает многокомпонентную структуру водно-экологических стандартов, в которой физико-химические показатели дополняются гидробиологическими (характеристики сообществ бактерий, водорослей, беспозвоночных, рыб), молекулярно-генетическими на основе анализа экологической ДНК (eDNA) и гидродинамическими характеристиками. Соотношение значимости компонентов определяется методами машинного обучения по данным мониторинга, а не задается априорно.

Рекомендуемый набор методов машинного обучения дифференцирован по классам задач: для классификации экологического статуса – Random Forest, XGBoost, LightGBM, нейронные сети; для прогнозирования временных рядов – LSTM/GRU, Transformer, гибридные физико-статистические модели; для анализа ландшафтных связей и переноса загрязнителей – графовые нейронные сети (GNN, GCN); для определения весов показателей – методы на основе SHAP-значений и перестановочной важности [2]. Валидация проводится на независимой тестовой выборке с метриками OA, F1, AUC и матрицей ошибок для классификации; MAE, RMSE, R^2, NSE, PBIAS, RSR – для регрессии [4].

Иллюстративный пример. Поясним механику применения ИИ при проектировании норматива на упрощенной задаче – пространственной дифференциации норматива по сульфатам для участка реки протяженностью около 200 км, разбитого на четыре створа (С1–С4: верхнее течение, среднее течение выше промышленного узла, среднее течение ниже промышленного узла, устьевая зона). Исходные данные – пятилетний ряд измерений по 12 физико-химическим показателям (температура, расход, мутность, электропроводность, концентрации основных ионов, биогенных элементов), данные о землепользовании в водосборе и о сезонных колебаниях уровня.

На первом этапе модель Random Forest обучается классифицировать «хорошее» и «удовлетворительное» состояние гидробиоценоза (целевая переменная – независимо измеренный индекс EPT таксонов) по перечисленным предикторам. На втором этапе для обученной модели рассчитываются SHAP-значения, которые показывают индивидуальный вклад каждого предиктора в предсказание для каждого створа.

Допустим, при единой ПДК по сульфатам 500 мг/дм^3 SHAP-анализ показал следующее распределение чувствительности (значения иллюстративные): С1 – вклад сульфатов в риск перехода в категорию «неудовлетворительно» составляет 0,05; С2 – 0,12; С3 – 0,41; С4 – 0,18. Это означает, что в створах С1 и С4 биоценоз малочувствителен к сульфатам в наблюдаемом диапазоне (риск ограничен другими факторами – кислородом и температурой), тогда как в С3 сульфаты являются доминирующим фактором риска. Калибровка норматива на приемлемый риск r = 0,1 дает пространственно дифференцированные значения: С1 – 800 мг/дм^3, С2 – 600 мг/дм^3, С3 – 350 мг/дм^3,

С4 – 550 мг/дм³ вместо единой ПДК 500 мг/дм³. При этом каждое значение сопровождается интерпретацией: «в створе С3 норматив ужесточен до 350 мг/дм³ ввиду высокого индивидуального вклада сульфатов в риск; в створе С1 норматив смягчен до 800 мг/дм³ ввиду отсутствия значимого вклада в риск».

Принципиальные отличия от классического подхода: (а) норматив получен не из лабораторных токсикологических испытаний на модельных организмах, а из статистической связи с фактическим состоянием биоценоза; (б) значения дифференцированы по створам, а не унифицированы; (в) каждое значение сопровождается количественной мерой чувствительности (SHAP), что обеспечивает требование объяснимости; (г) повторное применение методики на новых данных при сохранении версии модели, random seed и гиперпараметров приводит к воспроизводимым результатам. Аналогичные процедуры применяются для проектирования нормативов по другим показателям и в других классах задач; например, GNN используются для совместного нормирования сети связанных водных объектов с учетом переноса загрязнителей вниз по течению.

ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОДООЧИСТНЫХ УСТРОЙСТВ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Параллельно с реформированием подхода к нормированию качества воды стандартизация открывает возможности для пересмотра правил эксплуатации водоочистных устройств (ВУ). Ресурс ВУ зависит от скорости деградации v – потери эффективности в процентах за час. При нормативном (статистическом) подходе обслуживание производится по средним показателям партии, и дисперсия скорости σ^2_v оказывается велика. Это вынуждает закладывать значительный коэффициент запаса и приводит к существенному занижению фактического ресурса. При обслуживании по состоянию, то есть по результатам измерений на конкретном устройстве, остается только метрологическая погрешность, которая, как правило, на порядок меньше дисперсии партии [3].

Количественные результаты для типового водоочистного устройства:

– при детерминированном подходе расчетный ресурс t_p = 400 час;

– при нормативном (статистическом) подходе для вероятности безотказной работы R = 0,99 ресурс падает до 207 час – почти двукратное снижение по сравнению с детерминированной оценкой;

– при обслуживании по состоянию ресурс сохраняется на уровне 381 час, то есть выигрыш относительно нормативного подхода составляет около 84%.

Экономический эффект достигается одновременно по двум направлениям: за счет полного использования ресурса (отказ от преждевременных регенераций, проводимых ради соблюдения нормативного срока) и за счет предотвращения работы с просроченным ресурсом (избежание штрафов за сброс некондиционной воды). Алгоритм принятия решения опирается на кусочно-линейную аппроксимацию кривой деградации и правило перехода через квантиль нормального распределения, что согласуется с общей логикой риск-ориентированного нормирования.

Принципиально, что переход к обслуживанию по состоянию становится возможным только при наличии всех трех элементов предлагаемой системы стандартизации: общая оценка качества модели деградации, оперативный прогноз остаточного ресурса и формализованный риск-ориентированный критерий принятия решения о замене.

ИНТЕГРАЦИЯ С СИСТЕМАМИ МЕНЕДЖМЕНТА (ИСО 9000, ИСО 14000)

Современные стандарты качества и экологического менеджмента требуют учета изменений климата (поправка ISO 9001:2015/Amd 1:2024) и соблюдения законодательных требований. Предлагаемая система вероятностно-обоснованного нормирования встраивается в эту рамку без необходимости ее ревизии, причем наиболее естественным образом:

– вопросы климата и экологической эффективности целесообразно включать в систему экологического менеджмента (СЭМ) по ГОСТ Р ИСО 14001–2016, а не дублировать в системе менеджмента качества;

– в документах СМК следует ограничиться ссылками на СЭМ, что позволяет избежать дублирования и упростить ведение документации;

– программа повышения экологической эффективности и план природоохранных мероприятий разрабатываются в рамках единого риск-ориентированного подхода, опирающегося на количественные оценки неопределенности из стандартов.

Предлагаемая система также соответствует требованиям международных документов: ISO 5667-1:2006 (отбор проб воды), ISO/IEC 25012:2008 (модель качества данных мониторинга), WMO Technical Regulations Vol. III – Hydrology (WMO-No. 49) [7], EU Water Framework Directive 2000/60/EC [8], а также рекомендациям ASABE / Moriasi et al. [4] по метрикам качества гидрологических моделей. Это создает условия для последующей гармонизации отечественных стандартов с международными при сохранении национальных особенностей правоприменительной практики.

ПРАВОВЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Внедрение вероятностно-обоснованного нормирования и стандартизованных методов с применением ИИ меняет распределение ролей основных участников водохозяйственной деятельности:

– **Природопользователи** получают возможность снижать необоснованные штрафы за счет доказательства недоказанности нарушения. Так, в рассмотренном выше примере с веществом X плата за сверхнормативный сброс при корректном учете погрешности измерения уменьшается примерно на 27%, что согласуется с приведенной выше численной оценкой вероятности ошибочного решения.

– **Контролирующие органы** переходят от практики «наказания по факту» к управлению рисками и профилактике, что соответствует и общей риск-ориентированной направленности контрольно-надзорной деятельности, закрепленной в современном законодательстве о государственном контроле.

– **Судебная система** получает возможность опираться на метрологически обоснованные доверительные интервалы вместо произвольной оценки доказательств.

– **Разработчики стандартов** получают обязательство указывать не только числовое значение ПДК, но и допустимую вероятность его превышения с учетом совокупной неопределенности (например, в формулировке: «ПДК не должна превышаться с вероятностью более 0,95 при $\delta = 30\%$») [3].

– **Разработчики и операторы моделей, разработанных с помощью ИИ,** принимают на себя новый класс обязательств – обеспечение воспроизводимости, объяснимости и регулярной актуализации модели, документальную фиксацию ее паспорта и независимый аудит при существенных пересмотрах норматива.

Ответственность за ошибки алгоритмического нормирования

Внедрение методов искусственного интеллекта в процедуру установления нормативов ставит вопрос, симметричный обсуждавшейся выше проблеме погрешности измерения: какова цена ошибки самого алгоритма и кто несет материальную ответственность, если установленный с использованием ИИ норматив окажется в долгосрочной перспективе либо чрезмерно мягким (что приведет к экологическому ущербу), либо неоправданно жестким (что приведет к необоснованным расходам природопользователей)? Без явного ответа на этот вопрос требование объяснимости (XAI) остается декларативным.

Авторы исходят из следующих принципов распределения ответственности, согласованных с общей риск-ориентированной логикой работы:

– **ИИ-модель не является самостоятельным субъектом ответственности.** Окончательное значение норматива утверждается уполномоченным органом, который принимает решение с учетом результатов модельных расчетов, экспертной оценки и общественных слушаний. Принцип объективности не означает автоматизма утверждения: модель готовит обоснование, человек принимает решение.

– **Ответственность операторов модели формализуется через паспорт модели.** По аналогии с метрологическим обеспечением средства измерений паспорт фиксирует версию ПО, обучающую выборку, гиперпараметры, метрики качества на тестовой выборке и доверительные интервалы прогнозов. При выявленных существенных расхождениях между прогнозами модели и фактическими данными мониторинга оператор обязан инициировать переобучение или замену модели, что соответствует механизму триггеров переобучения.

– **Запрет на «черные ящики» как процессуальная гарантия.** Если норматив установлен с использованием неинтерпретируемой модели и впоследствии окажется источником ущерба, доказать его обоснованность в суде будет принципиально невозможно. Поэтому требование объяснимости (SHAP, LIME, частичные зависимости) одновременно является и техническим требованием к модели, и юридическим механизмом распределения ответственности: каждое значение норматива должно сопровождаться формализованным обоснованием, проверяемым независимым экспертом.

– **Период моратория и адаптации.** На первом этапе внедрения ИИ в процедуру проектирования нормативов целесообразно устанавливать переходный период (рекомендуемая длительность 3–5 лет), в течение которого новые нормативы действуют параллельно с традиционными ПДК, а штрафные санкции по новым нормативам применяются в ограниченном размере. Это снижает риск систематической ошибки в первоначальной калибровке моделей и согласуется с принципом адаптивности (плановый пересмотр стандарта не реже одного раза в 5 лет).

Численная иллюстрация цены ошибки алгоритма: если ИИ-проектированный норматив отклоняется от оптимального значения на 10% (что укладывается в типовую неопределенность прогнозных моделей класса «хороший»), то в масштабе бассейна крупной реки совокупный годовой ущерб от завышения норматива (экологические потери) или его занижения (необоснованные платежи) может составлять, по экспертным оценкам, единицы – десятки миллионов рублей. Это сопоставимо с экономическими эффектами, связанными с недоучетом ошибок прогноза, и подчеркивает, что внедрение ИИ-нормирования должно сопровождаться столь же тщательной метрологической и процессуальной обвязкой, какую имеют традиционные средства измерений.

Экономическая значимость предлагаемых изменений значительна. Ежегодный ущерб от наводнений в Российской Федерации составляет десятки миллиардов рублей [9], и значительная часть его может быть предотвращена при своевременном и точном прогнозировании. Перерасход реагентов на станциях водоподготовки крупных городов из-за неточного прогноза качества исходной воды достигает 15–25% от общих затрат на реагенты, что в абсолютном вы-

ражении для города с населением порядка 1 млн человек соответствует десяткам миллионов рублей в год. В энергетическом секторе ошибка прогноза притока в водохранилище на 10% может приводить к потерям выработки электроэнергии на миллионы рублей в сутки. Промышленные предприятия – целлюлозно-бумажная промышленность, теплоэнергетика, металлургия, химическая промышленность – несут дополнительные затраты из-за коррозии теплообменников и накипеобразования при неточном прогнозе гидрохимических параметров. Эти оценки указывают, что инвестиции в разработку и внедрение трех предлагаемых стандартов многократно окупаются за счет снижения совокупных потерь.

ИСТОЩЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАК КОНТЕКСТ РЕФОРМЫ

Стандартизация качества воды напрямую связана с проблемой истощения пресных водных ресурсов. Неэффективная очистка, отсутствие замкнутых циклов водопользования и формальное нормирование, не учитывающее реального состояния водного объекта, ведут к накопительной деградации водных экосистем. Переход на вероятностно-обоснованное нормирование, обслуживание ВУ по состоянию и ИИ-прогнозирование позволяет одновременно решать несколько задач:

– сокращать сброс загрязнителей за счет своевременной регенерации ВУ, опирающейся на фактическое, а не на расчетное состояние;

– уменьшать потребление свежей воды благодаря более надежной работе оборотных систем, в которых надежность обеспечивается прогнозом, а не запасом по нормативу;

– сохранять ресурс водных объектов для будущих поколений в логике общей концепции устойчивого развития.

В этом смысле предлагаемая система стандартизации представляет собой не только техническую реформу, но и инструмент реализации национальных приоритетов в области охраны окружающей среды и рационального природопользования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение трех разрабатываемых концепций национальных стандартов в единую систему вероятностно-обоснованного нормирования качества природных вод позволяет сформулировать следующие основные выводы.

– Детерминированные ПДК, не учитывающие погрешности измерений и природной вариабельности, являются юридически и экономически уязвимыми и при их формальном применении приводят к систематически ошибочным решениям, доля которых в типовых ситуациях достигает четверти и более [2].

– Вероятностный подход, опирающийся на понятия приемлемого риска и доверительного интервала, должен стать основой нового поколения водно-экологических стандартов и встраивается в действующую систему менеджмента риска по ГОСТ Р ИСО 31000 без ее ревизии [4].

– Унифицированный набор метрик MAE, MAPE, RMSE, R^2, NSE, KGE, PBIAS, дифференцированных по типу показателя и временно́му масштабу, обеспечивает количественную сопоставимость прогнозных методов и устраняет произвол в их сравнении [4].

– Для краткосрочного прогнозирования на горизонт 6 часов верифицированы модели ARIMA, SARIMA, ARFIMA, Хольта–Уинтерса и Prophet с пороговыми значениями MAPE от 3% (h = 1–2 ч, класс «отличный») до 20% (h = 5–6 ч, граница «приемлемого») в зависимости от горизонта [1,5,8].

– Методы искусственного интеллекта (Random Forest, XGBoost, SHAP, GNN, LSTM) позволяют перейти к адаптивным, пространственно-распределенным нормативам при условии обязательной объяснимости результатов и воспроизводимости расчетов [2].

– Обслуживание водоочистных устройств по фактическому состоянию дает выигрыш в ресурсе до 80% относительно нормативного подхода и одновременно снижает риск работы с просроченным ресурсом.

– Внедрение ИИ-проектированных нормативов требует формализованного распределения ответственности между разработчиками моделей, операторами систем мониторинга и регулятором: запрет на «черные ящики», паспортизация моделей и переходный период с параллельным действием традиционных ПДК образуют необходимую процессуальную обвязку.

– Интеграция с ИСО 9000/14000 и принципами риск-менеджмента обеспечивает методологическую согласованность реформы и правовую защищенность природопользователей [3].

Намечаемая программа дальнейших работ предусматривает оформление трех концепций как проектов национальных стандартов (ГОСТ Р) и инициирование их гармонизации с международными документами – ISO 5667, EU Water Framework Directive 2000/60/EC [8], WMO Technical Regulations [7] и ASABE Model evaluation guidelines [4]. Принципиально, что предлагаемая архитектура сохраняет методологическую согласованность даже при поэтапном внедрении: каждый из трех стандартов имеет самостоятельную ценность и может разрабатываться, утверждаться и пересматриваться независимо от двух других.

Список литературы

1. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. – 3rd ed. – Melbourne: OTexts, 2021. – URL: https://otexts.com/fpp3/

References

1. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne: OTexts, 2021. URL: https://otexts.com/fpp3/

2. Lundberg S.M., Lee S.-I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions // Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017). – Long Beach, CA, USA, December 4–9, 2017. – Curran Associates, Inc., 2017.
3. Розенталь О.М., Александровская Л.Н. Риск-ориентированный подход к оценке качества воды источников питьевого водоснабжения // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 5. – С. 563–569. – DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-5-563-569.
4. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations // Transactions of the ASABE. 2007. Vol. 50, № 3. P. 885–900. DOI: 10.13031/2013.23153.
5. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C., Ljung G.M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. – 5th ed. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015. – 712 p. – ISBN 978-1-118-67502-1.
6. Taylor S.J., Letham B. Forecasting at scale // The American Statistician. – 2018. – Vol. 72, № 1. – P. 37–45. – DOI: 10.1080/00031305.2017.1380080.
7. Technical Regulations (WMO-No. 49). Volume III: Hydrology. – 2021 edition. – Geneva: World Meteorological Organization, 2022. – URL: https://library.wmo.int/idurl/4/35631
8. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Water Framework Directive) // Official Journal of the European Communities. – 22.12.2000. – L 327. – P. 1–73.
9. Бирюков Е.С., Терентьев Н.Е. К оценке экономического ущерба от наводнений в России и потенциала адаптации // Теория и практика общественного развития. 2024. № 11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/k-otsenke-ekonomicheskogo-uscherba-ot-navodneniy-v-rossii-i-potentsiala-adaptatsii

2. Lundberg S.M., Lee S.-I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions. Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017). Long Beach, CA, USA, December 4–9, 2017. Curran Associates, Inc., 2017.
3. Rozental O.M., Aleksandrovskaya L.N. Risk-oriented approach to the assessment of the water quality of drinking water supply sources. Gigiena i Sanitariya [Hygiene and Sanitation]. 2019. Vol. 98, No. 5. P. 563–569. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-5-563-569. (In Russ.)
4. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE. 2007. Vol. 50, No. 3. P. 885–900. DOI: 10.13031/2013.23153.
5. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C., Ljung G.M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015. 712 p. ISBN 978-1-118-67502-1.
6. Taylor S.J., Letham B. Forecasting at scale. The American Statistician. 2018. Vol. 72, No. 1. P. 37–45. DOI: 10.1080/00031305.2017.1380080.
7. Technical Regulations (WMO-No. 49). Volume III: Hydrology. 2021 edition. Geneva: World Meteorological Organization, 2022. URL: https://library.wmo.int/idurl/4/35631
8. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Water Framework Directive). Official Journal of the European Communities. 22.12.2000. L 327. P. 1–73.
9. Biryukov E.S., Terentyev N.E. On the assessment of economic damage from floods in Russia and adaptation potential. Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya [Theory and Practice of Social Development]. 2024. No. 11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/k-otsenke-ekonomicheskogo-uscherba-ot-navodneniy-v-rossii-i-potentsiala-adaptatsii (In Russ.)

УДК 658.56:778.64

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ НА ПРОИЗВОДСТВАХ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

QUALITY MANAGEMENT IN ELASTOMERIC MATERIALS PROCESSING PLANTS

Карташов К.В., соискатель, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (Казань, Россия)

Kartashov K.V., PhD candidate, Kazan National Research Technological University (Kazan, Russia)

Для проектирования и подготовки производства сложных конструкторских изделий требуются адекватные подходы в управлении качеством. Целью статьи является исследование проблем качества в процессе производства мембран из композитов, усиленных непрерывным углеродным волокном, и анализ основных причин, влияющих на процесс согласно рекомендациям APQP-процесса. Согласно плану APQP-процесса установлено, что выбор технологии коэкструзии, оборудования для пятиосевой трехмерной печати, сырья из углеродного волокна на этапе проектирования производства позволит минимизировать пористость изделий и повысить их физико-химические свойства. Разработана структурная модель анализа производства в APQP-процессе, где ключевыми факторами повышения качества мембран являются выбор технологии изготовления, оборудования для печати мембран и характеристик исходного сырья. Материалы статьи имеют практическое значение для выбора моделей организации производства и систем менеджмента качества на предприятиях машиностроения.

Ключевые слова: управление качеством, APQP-процесс, аддитивное производство, производство мембран, полимерные материалы.

Для цитирования: Карташов К.В. Управление качеством на производствах переработки эластомерных материалов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4 (91). С. 88–94.

Adequate quality management approaches are required for the design and pre-production of complex design products. The purpose of the article is to study the quality problems in the production of composite membranes reinforced with continuous carbon fiber and to analyze the main causes affecting the process according to the recommendations of the APQP process. According to the APQP process plan, it was found that the choice of co-extrusion technology, equipment for five-axis three-dimensional printing, and carbon fiber raw materials at the design stage of production will minimize the porosity of products and improve their physico-chemical properties. A structural model of production analysis in the APQP process has been developed, where the key factors for improving the quality of membranes are the choice of manufacturing technology, membrane printing equipment, and raw material characteristics. The materials of the article are of practical importance for the selection of production organization models and quality management systems at machine-building enterprises.

Keywords: quality management, APQP process, additive manufacturing, membrane manufacturing, polymer materials.

For citation: Kartashov K.V. Quality management in elastomeric materials processing plants. Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2026;4(91): 88–94. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Для производства сложных конструкторских изделий требуются адекватные подходы в управлении качеством. К продукции повышенной сложности относятся трехмерные изделия, изготовленные с помощью аддитивных методов, предполагающих послойное создание объектов, или с помощью субтрактивных методов, напротив, предполагающих удаление лишнего материала.

В технологической цепи производства промышленных клапанов ответственным этапом является изготовление высокопрочных мембран из композитов, усиленных непрерывным углеродным волокном. Прототипы мембран на этапе проектирования в серийном производстве или непосредственно в мелкосерийном производстве мембран осуществляются аддитивным методом с использованием 3D-принтера. Качество мембран и их эксплуатационные свойства формируются на этапе проектирования изделий.

Международный стандарт ИСО/ТУ 16949 и его российский аналог ГОСТ Р ИСО/ТУ 16949–2009 описывают требования к системам менеджмента качества предприятий, занимающихся проектированием, разработкой, производством, установкой и обслуживанием продукции. Стандарт направлен на постоянное улучшение, предотвращение дефектов, снижение вариаций и потерь в цепи поставок производства. Одним из инструментов управления качеством, описанных в стандарте, является перспективное планирование качества продукции (APQP), направленное на снижение числа ошибок и ускорение всего процесса подготовки производства [4]. Основные отличия APQP от традиционных систем подготовки производства, принятых на большинстве российских предприятий, заключаются в постоянной ориентации на требования и ожидания потребителей.

Процесс планирования, разработки, подготовки и осуществления производства (APQP-процесс) делится на этапы с четкими требованиями к входам и результатам на выходе

для каждого этапа. В цепи производства промышленных клапанов выходы с этапа изготовления мембран являются входом на этап сборки трубопроводной арматуры.

Целью статьи является исследование проблем качества в процессе производства мембран из композитов, усиленных непрерывным углеродным волокном, и анализ основных причин, влияющих на процесс согласно рекомендациям APQP-процесса.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

В процессе производства могут возникать различные проблемы, которые влияют на качество продукции. Конечным результатом этих проблем являются дефекты, недостатки или значительные отклонения от ожидаемого функционирования или внешнего вида конечного продукта. Таким образом, в более широком смысле проблемы в управлении качеством связаны не только с конечным продуктом, но и со всеми действиями, которые могут пойти не так еще до его производства, на стадии проектирования и тестирования [1].

Первая и основная проблема в управлении качеством резинотканевых мембран заключается в большой сложности проведения стандартного технологического процесса, что приводит к целому комплексу вытекающих последствий в системе управления качеством. Сложность процесса состоит в том, что стандартный производственный процесс по изготовлению мембран заключается в вулканизации сырой резины в заранее подготовленной форме; данная форма, в свою очередь, также имеет сложный технологический процесс изготовления и большую металлоемкость, а также очень высокую стоимость. При этом ввиду необходимости целого ряда технологических операций, таких как смешивание, каландрирование, формование, отверждение и постобработка, данный процесс имеет большое количество недостатков [2]:

– высокая металлоемкость применяемой оснастки;

– высокая стоимость изготовления оснастки;

– необходимость в целом ряде специалистов для ведения процесса;

– необходимость контактирования с вредными веществами, такими как, например, сажа, перекиси;

– невозможность проведения переработки материалов;

– небольшая скорость проведения процесса производства.

Вторая проблема вытекает из первой. Все эти недостатки приводят к тому, что изготовление небольшой партии мембран становится очень дорогим, при этом практически любое внесение изменений в геометрию мембран для их модернизации и более точной настройки в ходе тестирования и отладки нового оборудования становится невозможным. Все это снижает качество нового оборудования уже на этапе его проектирования, кратно увеличивает стоимость разработки нового продукта, а также сроки разработки, полноценного тестирования и отладки.

В свою очередь, третьей проблемой в управлении качеством является увеличение стоимости проектирования, отладки нового продукта, что приводит к тому, что в условиях ограниченного бюджета продукт выходит на рынок недостаточно качественный, требующий при этом доводки с большой задержкой. В условиях импортозамещения, оперативного проектирования и освоения выпуска большой линейки оборудования данные проблемы стоят особо остро и требуют решения [1].

Другой проблемой является то, что в системах производства полых формовых изделий (высокопрочных мембран для промышленных клапанов) отсутствуют отработанные механизмы прототипирования, проверки и тестирования проектных решений, дизайна, прототипов, макетов.

Данная концепция развивается также в методе Тагучи, который представляет собой подход к проектированию и подчеркивает роль исследований, разработок и прототипирования, а также проектирования и разработки продукции в снижении количества дефектов и отказов в производимых товарах [3].

Стоит отметить, что в таких производственных и исследовательских задачах, как создание прототипов, макетов, инструментов и приспособлений, проверка дизайна и проектных решений, а также производство малосерийных деталей, помогает аддитивное производство. Как правило, аддитивное производство гораздо рентабельнее, чем традиционное субтрактивное производство. Для производителей аддитивное производство означает промышленное использование 3D-печати для совершенно разных задач.

Источник: составлено автором

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА МЕМБРАН С ЦЕЛЬЮ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Увеличение стоимости проектирования, отладки нового продукта приводит к тому, что продукт выходит на рынок недостаточно качественный, требующий при этом доводки с большой задержкой. Все это говорит о том, что необходима комплексная система управления качеством на всех этапах жизненного цикла мембран. Хорошим инструментом в этом служит система APQP планирования качества продукции.

Аддитивное производство устраняет необходимость в инструментах, что ускоряет выход на рынок. Благодаря оптимизации каждого этапа цикла разработки продукта можно сократить общие сроки производства.

Таблица 1

FMEA анализ причин и последствий конструкции оборудования (составлено автором)

Этап процесса	Потенциальный дефект	Последствия дефекта	Причина дефекта	Рекомендуемые действия
Составление технического задания	Неправильно сформулированное ТЗ	Изготовление тестовых образцов по неверным параметрам, увеличение бюджета на разработку новой продукции, риск вывода на рынок некачественного оборудования	Инженерная ошибка	Контроль технического задания
Составление эскизного проекта	Составленный эскизный проект не будет учитывать составленного ТЗ	При последующей проработке приведет к полному изменению конфигурации оборудования и его компоновки	Конструкторская ошибка	Контроль КД
Составление первичного технического проекта	Составление сырого проекта, составление проекта, содержащего ошибки	Оборудование, содержащее дефекты	Конструкторская ошибка	Контроль КД
Изготовление опытного образца	Слишком долгое изготовление образца, упрощение опытного образца для простоты его единичного производства, изготовление неподходящего образца	Превышение бюджета, опытный образец не проходит испытания, требуется изготовление нового образца вместе с новой оснасткой, требуется выделение нового бюджета и закупка нового материала	Отсутствие отлаженной системы прототипирования и тестирования продукции	Внедрение аддитивных технологий для прототипирования
Изготовление необходимой оснастки для опытного образца (пресс-форм)	Изготовление оснастки с дефектом, изготовленная оснастка не подходит к существующему оборудованию	Превышение выделенного бюджета на изготовление оснастки	Отсутствие отлаженной системы прототипирования и тестирования продукции	Внедрение аддитивных технологий для прототипирования
Тестирование оборудования в сборе на качество выполнения его функций	Неполное тестирование	Упрощенный тестовый образец, вывод на рынок некачественного оборудования	Отсутствие отлаженной системы прототипирования и тестирования продукции	Внедрение аддитивных технологий для прототипирования
При необходимости внесение изменений в КД	Внесение изменений, которые не решают реальной причины проблемы либо которые добавляют новые дефекты оборудованию	Нужен новый тестовый образец, вывод на рынок некачественного оборудования	Отсутствие отлаженной системы прототипирования и тестирования продукции	Внедрение аддитивных технологий для прототипирования

Аддитивное производство позволяет реализовать процессы от проверки концепции до функциональных прототипов в кратчайшие сроки. Это позволяет экономить средства и время на протяжении всего цикла разработки продукта. Быстрое создание прототипов также все чаще осуществляется с помощью той же технологии 3D-печати, которая будет использоваться для конечного продукта [4].

Далее для более детального изучения бизнес-процесса разработки новой продукции ООО «САС Автоматика» проведен FMEA анализ причин и последствий конструкции оборудования, который поможет выявить и разработать пути реинжиниринга данного бизнес-процесса. Анализируя приведенную таблицу FMEA анализа, можно прийти к выводу, что в бизнес-процессе отсутствует отлаженная си-



Рис. 1. Структурная модель анализа процесса производства в APQP-процессе (процессе перспективного планирования качества продукции) согласно ГОСТ 51814.6–2005 (составлено автором)

стема прототипирования и тестирования продукции, этапы производства прототипов неэффективны и требуют их исключения и замены.

Альтернативным процессом может стать внедрение аддитивных технологий для прототипирования и последующего тестирования продукции. Аддитивные технологии позволят производить мембраны без использования пресс-форм и прочей оснастки. Мембраны с применением аддитивного метода производства можно производить на пятиосевой машине с применением технологии коэкструзии непрерывного армирующего волокна. Полученное таким образом изделие не уступает аналогичным мембранам, полученным в пресс-форме [5].

Также технология может быть полезна в быстром получении оснастки. Инструменты, кондукторы, приспособления и другие традиционные производственные аксессуары можно быстро и легко напечатать на 3D-принтере. Аддитивное производство на предприятии может значительно ускорить процесс изготовления индивидуальных инструментов для любого производственного процесса. Более быстрое и менее затратное производство инструментов может привести к более быстрому и менее затратному производству в целом.

С помощью аддитивного производства производственные циклы можно значительно ускорить. Отсутствие необходимости в инструментах, сокращение трудозатрат и расходов, а также локализация производства обеспечивают более быстрый производственный процесс [1].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЕФЕКТНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ОТ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Для построения модели воспользуемся следующими показателями деятельности ООО «САС Автоматика»:

– затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y);

– материальные затраты на оснастку НИОКР (X1);

– количество ревизий разрабатываемого продукта (X2);

– срок разработки продукции (X3);

– количество конструкторов, задействованных в проекте (X4).

Массив данных показателей отражен в таблице 2 с количеством наблюдений (n), равным 10.

Далее определим средние значения x и y. Среднее значение Y составляет 10231,59, X1 – 4301,04, X2 – 93,5, X3 – 270,7, X4 – 26,2. Данные значения необходимы для вычисления эластичности модели.

Рассмотрим основные показатели регрессионной модели. Строка «Стандартная ошибка» показывает вероятность статистической ошибки регрессии. Строка «Наблюдения» показывает число периодов выборки, в нашем случае число наблюдений равно 10.

Таким образом, все коэффициенты модели регрессии имеют положительную корреляционную связь. При увеличении зависимых переменных X зависимая Y будет увеличиваться. Иными словами, чем выше коэффициенты X1, X2, X3 и X4, тем выше затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y), так как коэффициенты регрессии имеют положительную корреляционную связь.

Далее составим уравнение регрессии. Уравнение будет иметь вид: Y = -25,43 + 0,757x1 +5,391x2 + 9,886x3 + 145,673x4. Далее рассчитаем коэффициенты эластичности для построенной модели регрессии.

Таблица 2

Первичные данные регрессионного анализа ООО «САС Автоматика» (зависимые и факторные показатели модели) (тыс. руб.)

Год	Затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y)	Материальные затраты на оснастку НИОКР (X1)	Количество ревизий разрабатываемого продукта (X2)	Срок разработки продукции (X3)	Количество конструкторов, задействованных в проекте (X4)
2015	657,12	279,34	7	17	1
2016	3346,09	1491,69	37	83	8
2017	2547,54	1056,01	26	70	6
2018	2731,07	1215,96	30	78	7
2019	11371,81	4793,67	126	284	29
2020	10185,58	4096,13	102	299	25
2021	18349,07	7800,19	152	482	47
2022	4461,32	1949,53	49	127	11
2023	19937,50	8475,43	168	511	53
2024	28728,76	11852,45	238	756	75
Среднее	10231,59	4301,04	93,5	270,7	26,2

Таким образом, рассчитав коэффициенты эластичности, можно сделать следующие выводы об изменении результативного показателя:

– при увеличении материальных затрат на оснастку НИОКР (X1) на 1% затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y) увеличатся на 0,318%;

– при увеличении количества ревизий разрабатываемого продукта (X2) на 1% затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y) увеличатся на 0,049%;

– при увеличении срока разработки продукции (X3) на 1% затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y) увеличатся на 0,261%;

– при увеличении количества конструкторов, задействованных в проекте (X4) на 1% затраты на разработку новой продукции (НИОКР) (Y) уменьшатся на 0,373%.

Таблица 3

Основные показатели регрессионной статистической модели (составлено автором)

Множественный R	0,99
R-квадрат	0,99
Нормированный R-квадрат	0,98
Стандартная ошибка	127,21
Наблюдения	10

Таблица 4

Основные показатели регрессионной статистической модели (составлено автором)

	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	0,0082	-300,19	249,32	-300,19	249,32
Переменная X 1	0,14	-0,37	1,89	-0,37	1,89
Переменная X 2	0,26	-5,63	16,42	-5,63	16,42
Переменная X 3	0,01	3,28	16,49	3,28	16,49
Переменная X 4	0,09	-36,24	327,59	-36,24	327,59

Таблица 5

Коэффициенты эластичности модели (составлено автором)

	X1	X2	X3	X4
Коэффициенты эластичности	0,318	0,049	0,261	0,373

Далее рассчитаем зависимую переменную Y исходя из увеличения факторных признаков модели регрессии.

В данной таблице отражены переменные уравнения регрессии. Первая строка в таблице соответствует построенному уравнению, строки 2–4 содержат коэффициенты уравнения регрессии с поправкой на увеличение или уменьшение независимых переменных исходя из предложенных мероприятий. Итоговая строка данной таблицы содержит расчет эффекта от совокупного влияния сразу трех факторов независимых переменных.

Затем рассчитаем, насколько изменилась зависимая переменная по каждому параметру отдельно и в совокупности. Для этого из нового значения зависимой переменной Y, скорректированного на изменение факторного признака, вычтем значение Y при стандартных коэффициентах.

Таблица 6

Расчет эффекта от совокупного и отдельного влияния факторов (составлено автором)

	Y	(a0) b	a1	X1	a2	X2	a3	X3	a4	X4
Значение тренда	10231,6	-25,43	0,76	4301,04	5,39	93,5	9,89	270,7	145,67	26,2
Расчет эффекта от X1 + 5%	10068,6	-25,43	0,76	4085,99	5,39	93,5	9,89	270,7	145,67	26,2
Расчет эффекта от X2 – 5%	10206,4	-25,43	0,76	4301,04	5,39	88,825	9,89	270,7	145,67	26,2
Расчет эффекта от X3 – 5%	10097,8	-25,43	0,76	4301,04	5,39	93,5	9,89	257,165	145,67	26,2
Расчет эффекта от X3 – 5%	10040,8	-25,43	0,76	4301,04	5,39	93,5	9,89	270,7	145,67	24,89
Расчет эффекта от совокупного влияния факторов	10044,7	-25,43	0,76	4516,09	5,39	88,825	9,89	257,165	145,67	24,89

Таблица 7

Совокупный экономический эффект по факторным признакам модели регрессии (составлено автором)

	X1	X2	X3	X4	Совокупное влияние
Экономический эффект	-163	-25,201	-133,82	-190,83	-186,86

Из данной таблицы видно, что X1 дает прирост Y на 1,60, X2 дает прирост Y на 1,16, X3 дает прирост Y на 0,05. При совокупном влиянии факторов переменная Y увеличится на 2,81.

При совокупном влиянии трех переменных экономический эффект составит 2,81, данный показатель означает, что зависимая переменная увеличится на 2,81.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследования проблем качества мембран для пневматических клапанов в процессе перспективного планирования качества (APQP-процесс) получены следующие научно-практические результаты:

1. Анализ основных причин, влияющих на процесс производства и качество мембран для промышленных клапанов, позволил выделить пять направлений факторов, воздействующих на основной дефект – пористость мембран. Согласно плану APQP-процесса выбор технологии коэкструзии, оборудования для пятиосевой трехмерной печати, сырья из углеродного волокна на этапе проектирования производства позволит минимизировать пористость изделий (на 10 произведенных изделий новым способом только одно отбраковано с данным дефектом, в то время как с использованием старой технологии показатель доходил до 4–5 изделий), а также повысить их физико-химические свойства, а именно прочность на разрыв.

2. Обоснована целесообразность использования инструмента перспективного планирования качества продукции (APQP) для улучшения процесса проектирования (прототипирования) мембран и постановки их на производство. Разработана структурная модель анализа производства в APQP-процессе, где ключевыми факторами повышения качества мембран и устранения дефекта являются выбор технологии изготовления, оборудование для печати мембран и характеристики исходного сырья.

3. Разработана математическая модель зависимости затрат на разработку новой продукции (НИОКР) от следующих показателей: материальные затраты на оснастку НИОКР, количество ревизий разрабатываемого продукта, срок разработки продукции, количество конструкторов, задействованных в проекте. Выявлена прямая зависимость влияния всех показателей. Таким образом, при увеличении факторных переменных, зависимая переменная будет увеличиваться.

Список литературы

1. Токмакова Т.В., Высоцкая В.И., Токмакова Е.Н., Маликов С.Б. Анализ особенностей методов APQP/PPAP для повышения качества наукоемкой продукции // Научно-технический журнал СТИН. 2022. № 1. С. 33–34.
2. Малышева Т.В. Контроль качества производства отечественных автокомпонентов на основе процедуры одобрения новых поставщиков (PPAP) стандарта IATF 16949 // Контроль. Диагностика. 2025. № 6 (324). С. 31–38.
3. Шинкевич А.И., Малышева Т.В., Иванова Л.Н. Мониторинг процессов энергосбережения в производственных системах на основе математической статистики // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. № 4. С. 57–64.
4. Малышева Т.В. Научно-практический подход к оценке эффективности управления качеством и несоответствующей продукцией в производственной системе // Управление качеством. 2022. № 11. С. 5–9.
5. Настин А.А. Планирование качества продукции. APQP & ГОСТ Р 15.301 – аналогичность в отличиях // Стандарты и качество. 2024. № 2. С. 92–96.

References

1. Tokmakova T.V. Vysotskaya V. I. Tokmakova E. N. Malikov S. B. Analysis of the features of APQP/PPAP methods for improving the quality of high-tech products. Scientific and technical journal STIN. 2022; 1: 33–34. (In Russ.)
2. Malysheva T.V. Quality control of the production of domestic automotive components based on the approval procedure for new suppliers (PPAP) of the IATF 16949. Control standard. Diagnostics. 2025; 6(324): 31–38 (In Russ.)
3. Shinkevich A.I. Malysheva T.V. Ivanova L.N. Monitoring of energy saving processes in production systems based on mathematical statistics. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021; 4: 57–64. (In Russ.)
4. Malysheva T.V. A scientific and practical approach to assessing the effectiveness of quality management and nonconforming products in the production system. Quality management. 2022; 11: 5–9. (In Russ.)
5. Nastin A.A. Product quality planning. APQP & GOST R 15.301 – similarity in differences. Standards and Quality. 2024; 2: 92–96. (In Russ.)

УДК 658.5

РАЗВИТИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И БЕЗОПАСНОСТИ В ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

DEVELOPMENT OF ADAPTIVE QUALITY AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS IN THE MINING INDUSTRY

Мешалкин В.П., академик РАН, д-р техн. наук, профессор, директор Международного института логистики ресурсосбережения и технологической инноватики (НОЦ), профессор кафедры логистики и экономической информатики ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (Москва, Россия)

Грозовский Г.И., д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» (Москва, Россия)

Макушкин А.С., аспирант факультета «Машиностроение», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» (Москва, Россия)

Meshalkin V.P., Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the International Institute of Resource-Saving Logistics and Technological Innovation (NTC), Professor of the Department of Logistics and Economic Informatics, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Moscow, Russia)

Grozovskiy G.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Standardization, Metrology, and Certification (Moscow, Russia)

Makushkin A.S., Postgraduate Student of the Faculty of Mechanical Engineering, Moscow Polytechnic University (Moscow, Russia)

Статья посвящена анализу развития интегрированных адаптивных систем управления в горнорудной промышленности, где сочетание технических, человеческих и организационных факторов формирует устойчивость предприятий. Особое внимание уделяется взаимосвязи адаптивности предприятий с принципами системы менеджмента качества – процессным подходом, постоянным улучшением и управлением рисками. Анализируются ключевые механизмы адаптации, включая усиление коммуникаций и управление человеческим фактором, а также их роль в обеспечении стабильности производственных процессов и безопасности. В контексте управления качеством рассмотрены индикаторы срыва адаптации (рост нарушений процедур, конфликт целей, ослабление обратных связей) и стратегии их предотвращения. Обосновывается, что интеграция инструментов СМК в адаптивные системы позволяет сохранять баланс между эффективностью и устойчивостью, минимизируя риски аварий.

Ключевые слова: адаптивные системы управления, управление качеством, промышленная безопасность, управление рисками, система менеджмента качества, обратные связи.

Для цитирования: Мешалкин В.П., Грозовский Г.И., Макушкин А.С. Развитие адаптивных систем управления качеством и безопасности в горнорудной промышленности // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2026. № 4(91). С. 95–102.

The article focuses on the development of integrated adaptive management systems in the mining industry, where a combination of technical, human, and organizational factors contributes to the sustainability of enterprises. The article emphasizes the relationship between enterprise adaptability and the principles of quality management systems, such as the process approach, continuous improvement, and risk management. It also explores the key mechanisms of adaptation, including enhanced communication and human factor management, and their role in ensuring the stability of production processes and safety. In the context of quality management, the article examines indicators of adaptation failure (increased procedural violations, conflicting goals, and weakened feedback loops) and strategies for preventing them. It is substantiated that the integration of QMS tools into adaptive systems allows to maintain a balance between efficiency and sustainability, minimizing the risks of accidents.

Keywords: adaptive control systems, quality management, industrial safety, risk management, quality management system, feedback.

For citation: Meshalkin V.P., Grozovskiy G.I., Makushkin A.S. Development of adaptive quality and safety management systems in the mining industry // Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2026. 4(91): 95–102. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Адаптивные системы – это сложные социотехнические организации (сочетающие технические, человеческие и организационные компоненты), способные динамически изменять свои процессы, структуры и стратегии в ответ на изменения внешней и внутренней среды [1].

В горнорудной промышленности это означает способность предприятия адаптироваться к новым условиям экс-

плуатации, изменяющимся требованиям рынка и стандартам безопасности [2]. Адаптивная система позволяет не только поддерживать производительность, но и минимизировать риски, связанные с безопасностью.

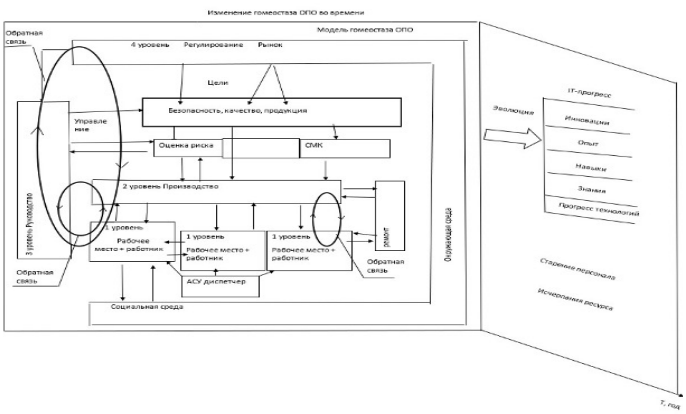
ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

Система изначально спроектирована для работы в определенных условиях. Однако со временем эти условия могут меняться, и система должна адаптироваться к новым требованиям [3]. Это основная задача, которую решает система промышленной безопасности.

Система развивается вместе с развитием технологий и изменением условий работы [4]. Некоторые компоненты системы, такие как персонал и оборудование, могут устаревать или изнашиваться. Это может усложнить их обслуживание и привести к необходимости внесения изменений в систему.

Изменения могут вноситься без повторной оценки рисков. Например, сотрудники могут уходить на пенсию, а их место занимать более молодые и квалифицированные специалисты, которые могут иметь меньше опыта работы с объектами.

Таким образом, система переходит в условия, отличные от тех, которые были предметом первоначальной оценки риска (рисунок).



Изменение гомеостаза предприятия во времени

Рисунок иллюстрирует динамику изменения гомеостаза предприятия во времени. Показаны различные уровни адаптивности системы, которые изменяются в зависимости от внешних и внутренних факторов:

– на горизонтальной оси отображается время, что позволяет увидеть, как система адаптируется к изменениям;

– вертикальная ось показывает уровень адаптивности системы, который может колебаться в зависимости от различных факторов, таких как изменения в правилах безопасности, устаревание оборудования и изменения в составе персонала;

– на графике выделены критические точки, где уровень адаптивности системы может резко снижаться из-за недостатка ресурсов, неэффективной коммуникации или изменения условий эксплуатации;

– показаны механизмы обратной связи, которые могут помочь системе адаптироваться к изменениям и поддерживать уровень безопасности и производительности.

Правила промышленной безопасности часто пересматриваются и вносятся изменения в требования (вводятся новые и/или корректируются существующие). В связи с этим наблюдаются случаи несоблюдения требований. Несмотря на это, системы продолжают функционировать в штатном режиме, производство идет своим чередом, а серьезных инцидентов не наблюдается. В связи с отсутствием значительных происшествий в течение долгого времени систему воспринимают как столь же безопасную, как на начальном этапе эксплуатации, а задачи обеспечения безопасности становятся рутинными.

При этом в систему управления промышленной безопасностью (далее – СУПБ) не вносятся изменения, а сотрудники, отвечающие за безопасность, не получают новых знаний. Обратные связи между уровнями иерархии не развиваются, несмотря на произошедшие изменения в структуре и функциях системы.

На практике выполнение производственных и ремонтных операций стало более сложным: несмотря на сохранение высокого качества конечного результата, сами операции стали требовать больше времени, усилий и попыток, создавая трудности для сотрудников. Это может указывать на нарушения в способности системы адаптироваться к изменениям. Увеличивается количество процедур, которые не соблюдаются, но это не становится предметом обсуждения. Ситуации, которые раньше приводили к остановке производства, теперь считаются допустимыми. Разрыв между запросами персонала и обратной связью от управленческих структур стал более заметным. Системные сбои в обеспечении обратной связи нарушают концепцию устойчивости и адаптивности, активно развивавшуюся в последние годы. Ослабление способности к адаптации приводит к трудностям в управлении изменяющимися условиями эксплуатации, а в случае неожиданных событий может привести к полной потере адаптивности и разрушению системы [5].

Многие компании под «поведением персонала» подразумевают соблюдение установленных норм, таких как использование средств индивидуальной защиты, выполнение инструкций и поддержание порядка на рабочих местах. Такие действия действительно влияют на безопасность, однако упускается важность инициативного поведения сотрудников, выходящего за рамки предписанных правил [6].

На предприятиях с устойчивой адаптивной системой обеспечение безопасности требует внедрения предложений по улучшению процессов, активизации коммуникаций

между сотрудниками, поддержания обратной связи, обучения новых членов команды и участия в профилактических мероприятиях.

Оператор, работающий на определенном этапе процесса, взаимодействует с рабочими условиями, включая оборудование и коллег. Однако существуют другие элементы, такие как стратегия компании, социальные отношения, правила организации, которые также формируют рабочую среду, хотя и не всегда видны с места выполнения операций. Эти факторы оказывают влияние на деятельность сотрудника, который является частью системы. Его собственное состояние также изменчиво и зависит от биоритмов, усталости, личных событий и способности к коммуникации.

Условия эксплуатации остаются непредсказуемыми, что делает управление процессами неидеальным даже в четко регламентированных областях, таких как промышленные предприятия. Любая работа требует адаптации к различным возмущениям, которые часто трудно предсказать. Кроме того, системы сталкиваются с вызовами, связанными с эволюцией условий и технологий, что создает дополнительные сложности для нормальной эксплуатации. Незаметные изменения становятся проблемой для адаптивности.

Важно понимать, что предприятия создаются, модифицируются и эксплуатируются людьми, которые заинтересованы в их успешной работе. Для обеспечения устойчивости необходимы изучение и поддержка адаптивного поведения человека, в том числе через технологическое развитие.

Особый интерес представляют случаи, когда процессы адаптации оказываются неудачными, будь то из-за отказа системы признавать необходимость изменений или из-за негативных последствий самой адаптации [7–9]. Основным вызовом является поиск способов, которые позволили бы системам более эффективно управлять своей способностью адаптироваться к внешним возмущениям.

В связи с тем, что горнорудные предприятия рассматриваются как комплексные адаптивные системы (далее – КАС) [10], применим вышеприведенные причины отказов на них

Устойчивость системы в контексте горнорудного предприятия можно рассматривать как состояние равновесия между производственными процессами, безопасностью и адаптивностью системы. Данный баланс аналогичен целям СМК, направленным на стабильность процессов и удовлетворение требований заинтересованных сторон [11].

Горнорудные предприятия изначально проектируются под определенные условия, но с течением времени условия работы горнорудных предприятий меняются. Внедрение новых технологий, изменение требований к производительности и безопасности, а также замена опытного персонала на молодых специалистов создают необходимость в постоянном изменении предприятия, что влечет за собой применение на предприятии адаптивных механизмов. Как отмечается в исследовании, многие компоненты системы, такие как оборудование и персонал, могут устаревать, что затрудняет их обслуживание и требует внесения изменений без повторной оценки рисков [12].

Рассмотрим подробнее изменяющиеся факторы на горнорудных предприятиях:

1. Изменение компонентов системы:

— физическое и моральное старение оборудования: износ техники и устаревание технологий затрудняют обслуживание и повышают риски;

— смена поколений персонала: опытные сотрудники уступают место молодым специалистам, которые, обладая современными навыками, теряют знания о специфике исторически сложившихся процессов;

— локальные модификации без переоценки рисков: изменения вводятся без анализа их влияния на безопасность, что нарушает исходные проектные условия.

2. Динамика производственных требований:

— рост производительности: давление рынка и акционеров приводит к конфликту между краткосрочными целями (объемы добычи) и долгосрочными приоритетами (безопасность);

— формализация процедур: ужесточение регламентов сокращает время на выполнение операций, вынуждая персонал искать неформальные обходные пути.

3. Расширение границ безопасной эксплуатации:

— виртуальные ограничения: недокументированные правила, известные персоналу, но нарушаемые в повседневной работе;

— однообразие безопасности: длительное отсутствие аварий создает иллюзию стабильности, что приводит к пренебрежению обновлением СУПБ и обучением персонала.

4. Изменения в законодательстве и правилах безопасности.

Например, снижение допустимых выбросов, которое потребует модернизации фильтрационных систем на оборудовании.

Вышеперечисленные изменения приводят к тому, что система начинает работать в условиях, отличных от первоначального проекта, что требует постоянной переоценки рисков.

Рассмотрим основные причины отказов в адаптации систем и применим их на горнорудные организации [13]:

1. Исчерпание ресурсов адаптации

Эта проблема возникает при ужесточении контроля, когда отслеживаются динамические процессы с участием множества участников и технологий. В результате растут тре-

бования, но система мониторинга безопасности не успевает оперативно реагировать на изменения.

Обратные связи в системе перегружены, что резко снижает управляемость. Особенно критичны коммуникации между руководством и рядовыми сотрудниками. Запросы на дополнительные ресурсы для обеспечения безопасности отклоняются, что ведет к потере контроля и повышает риск инцидентов. Нарушается баланс между производительностью и безопасностью.

С точки зрения надзора важно получать точные данные о работе системы, чтобы вовремя корректировать процессы. Однако сложности возникают из-за неспособности системы быстро реагировать на новые требования. Решение – раннее выявление тенденций к потере управления и внедрение новых механизмов, включая выделение ресурсов для непредвиденных ситуаций.

В условиях ужесточения экологических норм, требований безопасности и роста производственных задач горнорудные предприятия сталкиваются с перегрузкой систем мониторинга (например, датчиков контроля загазованности), устойчивостью пород или состоянием оборудования, не успевают обрабатывать данные в реальном времени, особенно на глубоких горизонтах. Это приводит к запаздыванию реакций на аварийные ситуации, такие как обрушения или выбросы метана.

Таким образом, в горнорудной промышленности возникают следующие отказы:

— отказ в коммуникациях: руководство шахт и горные инженеры часто не получают оперативных данных от рабочих в забоях из-за сложных условий связи, что усугубляет управленческие задержки;

— отказ в выделении ресурсов: запросы на модернизацию систем безопасности (например, установку новых вентиляционных систем или автоматизированных датчиков) отклоняются в пользу краткосрочных производственных целей;

— дисбаланс эффективности и безопасности: Давление на выполнение планов добычи приводит к пренебрежению протоколами безопасности, увеличивая риск катастроф.

2. Конфликт целей предприятия

Компания фокусируется на узком круге задач, но для достижения всех целей не хватает ресурсов. Обратные связи перегружены из-за стресса, усталости и когнитивной перегрузки сотрудников. Это связано со сложностью условий, в которых работают системы.

Пример – «трагедия обществ», когда чрезмерная эксплуатация ресурсов ради краткосрочной выгоды ведет к их истощению [14, 15]. В долгосрочной перспективе такое поведение становится разрушительным. Например, чрезмерная эксплуатация месторождений без учета их восполнимости (например, открытая разработка карьеров) приводит к истощению ресурсов и долгосрочным экологическим потерям.

Главная сложность – проектирование систем, которые одновременно обеспечивают стабильность (для согласованных действий) и гибкость (для адаптации к изменениям) [16, 17]. В системах с пересекающимися обратными связями требуется усиленная координация, чтобы избежать конфликта целей. Ключевая проблема – расстановка приоритетов.

Горнорудные компании часто разрываются между противоречивыми задачами, такими как увеличение объемов добычи для максимизации прибыли, соблюдение экологических стандартов (рекультивация земель, снижение выбросов) и обеспечение безопасности работников, что приводит к следующим отказам:

— когнитивная перегрузка сотрудников: горные инженеры и рабочие, работающие в условиях стресса (шум, пыль, риск обвалов), допускают ошибки из-за усталости;

— нехватка координации: противоречивые требования к проектированию шахт (например, оптимизация логистики (с одной стороны) и создание аварийных выходов (с другой стороны)) вызывают конфликты на этапе планирования.

3. Устаревшие методы работы

Система продолжает использовать старые стратегии, хотя внутренние и внешние условия изменились. Проблема особенно актуальна, когда сотрудники отказываются признавать, что прежние успешные методы больше не работают.

Это связано с неспособностью системы обучаться на прошлом опыте. Планы действий, основанные на устаревших данных, часто не соответствуют реальности. Ошибки возникают, когда признаки возможных сбоев игнорируются из-за неверной оценки ситуации [18].

Основная сложность – неочевидность сигналов о неэффективности старых стратегий, что затрудняет их своевременную корректировку.

Многие горнорудные предприятия продолжают использовать опасные или неэффективные технологии, такие как ручное управление взрывными работами, вместо автоматизированных систем, устаревшие методы вентиляции, не соответствующие глубине современных шахт, а также игнорирование цифровых двойников для моделирования геологических рисков. Это приводит к следующим причинам отказа:

— консерватизм сотрудников: опытные работники часто отвергают новые методы («Мы всегда так делали!»), даже если статистика показывает рост аварийности;

— игнорирование ошибок: повторение сценариев прошлых аварий (например, игнорирование предвестников обрушения) из-за недостаточного анализа инцидентов.

Таким образом, из вышеперечисленных причин отказов определим следующие сценарии срыва адаптации:

1. Недостаточность обратных связей:

— если механизмы саморегуляции не предусмотрены, не хватает ресурсов или нарушена коммуникация, система не может адаптироваться. Пример: отсутствие датчиков контроля за устойчивостью отвалов приводит к оползням;

— нарушение баланса между безопасностью и эффективностью – пример сбоя авторегуляции. Пример: приоритет скорости проходки над безопасностью провоцирует обвалы;

— задержки в принятии решений руководством также приводят к потере управляемости. Пример: руководство медлит с остановкой работ при превышении ПДК вредных веществ, подвергая рабочих опасности.

2. Конкурирующие цели:

— противоречивые требования при проектировании системы могут вызвать сбои на всех уровнях. Пример: конфликт между геологами (сохранение устойчивости пластов) и экономистами (сокращение сроков разработки);

— нехватка ресурсов для создания новых структур усложняет адаптацию;

— соответствие разным регуляторным нормам создает дополнительные конфликты.

3. Недостатки проектирования:

— если предприятие не рассматривается как сложная КАС, обратные связи могут быть неэффективными. Пример: шахты проектируются без учета адаптивности к изменяющимся геологическим условиям (например, внезапные водные прорывы);

— важно анализировать как успешные, так и неудачные адаптационные процессы, чтобы обновлять систему безопасности. Пример: неучет данных о прошлых авариях при планировании новых горизонтов.

Персонал играет ключевую роль в функционировании адаптивных систем. Опытные работники обладают уникальными знаниями о процессе и могут выявлять случаи, когда предписанные процедуры не применимы. Однако, как показывает практика, многие сотрудники могут игнорировать или не замечать изменения в условиях работы, что приводит к устареванию адаптивных стратегий. Важно развивать коммуникацию и обучение, чтобы обеспечить обратную связь и вовлеченность персонала в процессы адаптации.

Ключевые сигналы, указывающие на снижение устойчивости системы:

1. Рост числа неформальных корректировок – сотрудники все чаще нарушают инструкции, но производство продолжается.

2. Увеличение времени на выполнение операций – задачи решаются, но с большими трудозатратами.

3. Ослабление обратной связи – руководство игнорирует сигналы с нижних уровней.

4. Снижение качества (нарушение) коммуникаций – персонал не обсуждает возникающие проблемы, что ведет к накоплению скрытых рисков.

Для успешного развития адаптивных систем в горнорудной промышленности предлагается внедрять следующие стратегии:

1. Обратные связи и коммуникация: эффективная коммуникация между различными уровнями иерархии является ключевым элементом для поддержания устойчивости предприятия. Руководство должно активно вовлекать работников в процессы принятия решений, обеспечивая возможность для обратной связи. Это позволит оперативно реагировать на изменения и корректировать процессы, что, в свою очередь, повысит уровень адаптивности.

1.1. Развитие многоуровневых обратных связей:

— создание каналов оперативного оповещения о нарушениях;

— делегирование полномочий на местах для оперативного реагирования (иерархия обратных связей). Пример: делегирование полномочий начальникам смен для экстренной остановки работ при угрозе обрушения;

— вовлечение сотрудников на всех уровнях в процессы принятия решений и адаптации, что позволит создать более устойчивую и эффективную систему (Участие всех уровней иерархии). Пример: ежедневные брифинги между геологами, инженерами и рабочими для согласования планов проходки.

Иерархия обратных связей может быть интегрирована в СМК через процедуры внутренних аудитов и корректирующих действий [11].

2. Баланс между эффективностью и безопасностью:

— регулярный аудит производственных процессов: регулярная оценка соотношения «безопасность – эффективность». Регулярный аудит процессов соответствует требованиям СМК к оценке результативности системы [11];

— внедрение KPI, учитывающих не только объемы добычи, но и уровень безопасности;

— резервирование ресурсов: создание «тактических резервов» для непредвиденных сценариев. Пример: ре-

зервные компрессоры для вентиляции при внезапных выбросах метана, а также создание аварийных бригад для локализации инцидентов в глубоких горизонтах.

3. Обучение и развитие персонала

Устаревание знаний и навыков работников может привести к снижению адаптивности системы. Поэтому горнорудные предприятия должны инвестировать в обучение и развитие персонала, обеспечивая их актуальными знаниями о новых технологиях и изменениях в правилах безопасности. Это поможет сохранить опыт и повысить уровень компетентности работников.

Основные моменты:

— ситуационное обучение: тренинги на основе реальных кейсов, включая незапланированные инциденты (например, разбор реальных кейсов, таких как неправильная оценка устойчивости кровли, приведшая к обвалу). Ситуационное обучение и развитие компетенций – ключевой элемент СМК, обеспечивающий соответствие персонала требованиям процессов [11];

— поощрение инициатив: вовлечение сотрудников в предложение улучшений и модернизацию процедур. Пример: программы для рабочих по предложению улучшений (например, оптимизация маршрутов транспортировки руды);

— обучение и развитие персонала: регулярное обучение сотрудников новым технологиям и процедурам, а также развитие навыков коммуникации и работы в команде.

4. Учет социотехнических факторов:

— анализ человеческого фактора: учет усталости, биоритмов и коммуникационных навыков операторов. Пример: учет биоритмов при составлении графиков смен (избежание ночных работ в опасных зонах);

— обновление СУПБ: интеграция уроков из успешных и неудачных адаптаций в регламенты. Пример: включение в регламенты уроков из ЧП, например ужесточение контроля за креплением пород после аварий.

5. Адаптация к изменениям

Горнорудные предприятия должны быть готовы к быстрой адаптации к изменениям в условиях эксплуатации. Это может включать в себя внедрение новых технологий, изменение производственных процессов и пересмотр правил безопасности. Важно, чтобы система была гибкой и могла быстро реагировать на новые вызовы. Гибкость системы достигается в том числе и через цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act), который лежит в основе СМК [11].

6. Управление рисками

Применение концепции адаптивности также подразумевает активное управление рисками. Предприятия должны проводить регулярные оценки рисков, выявляя потенциальные угрозы для безопасности и производительности. Это позволит заранее разработать меры по минимизации рисков и поддержанию устойчивости системы. Пример: подготовка к климатическим изменениям (например, укрепление отвалов при увеличении осадков), совместные исследования по прогнозированию тектонических сдвигов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие конкретные направления развития адаптивных СУПБ на горнорудных предприятиях, интегрированных с СМК:

1. По механизму обратных связей: для предотвращения «исчерпания ресурсов адаптации» предлагается внедрение иерархической системы многоуровневых коммуникаций (обратных связей).

2. По балансу «эффективность – безопасность»: для устранения конфликта целей («краткосрочный план добычи» против «долгосрочной безопасности») целесообразно внедрение сбалансированных KPI, где показатель аварийности или число инцидентов является блокирующим фактором для руководства. Рекомендуется создание «тактических резервов» (финансовых и материальных) для непредвиденных сценариев.

3. По преодолению устаревших методов: для борьбы с консерватизмом персонала и неспособностью системы обучаться необходимо внедрить обязательный ситуационный анализ каждого инцидента (включая «почти аварии»). Обучение должно проводиться не формально, а на реальных кейсах конкретного предприятия, с акцентом на распознавании того, что может привести к сбою (рост времени операций, увеличение неформальных корректировок).

4. По прогнозированию срыва адаптации: предложено использовать следующие индикаторы раннего предупреждения: а) динамика роста числа неформальных отклонений от инструкций; б) увеличение временны́х затрат на штатные операции; в) ослабление обратной связи (игнорирование предложений). При фиксации двух и более индикаторов инициируется внеплановый корректирующий аудит.

5. Практическая реализация: рекомендуется закрепить ответственность за адаптивность системы не за отдельными службами, а за создаваемыми кросс-функциональными комиссиями (геологи, инженеры, операторы), работающими по циклу PDCA. Это позволит перейти от реактивного управления (ликвидация последствий) к проактивному (предотвращение потери управляемости).

Таким образом, внедрение перечисленных мер, учитывающих социотехническую природу горнорудного предприятия, позволяет минимизировать риски аварий и обеспечить долгосрочную стабильность не за счет ужесточения контроля, а за счет повышения внутренней гибкости системы, что является основной целью интеграции СМК и адаптивной СУПБ.

Даже при самом детальном проектировании адаптационных механизмов в сложных системах (КАС) невозможно полностью предугадать, как сработают обратные связи в условиях внешних или внутренних изменений. Их активация может происходить хаотично, поэтому необходимо непрерывно анализировать данные о реальных процессах адаптации.

Такой анализ должен охватывать не только ошибки персонала, но и сбои в технических и коммуникационных цепях обратной связи. Мониторинг признаков приближения системы к критическому состоянию позволяет прогнозировать ее способность адаптироваться к новым вызовам.

Только комплексный подход, включающий технические, организационные и человеческие аспекты, позволит минимизировать риски и обеспечить долгосрочную стабильность работы горнорудных предприятий.

Список литературы

1. Александровский Н. М., Егоров С. В., Кузин Р. Е. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами = Адаптивные системы управления [Текст]/ под общ. ред. Н. М. Александровского. М.: Энергия, 1973. – 272 с.
2. Мурадова Д., Караева А. Обогащаемость горнорудных комплексов: инновационные технологии для повышения производительности // Инновационная наука. 2024. № 8. С. 73–74.
3. Самсонова В. А, Шангин А. Е. Экономика и управление адаптивной системой промышленной безопасности // Дискуссия. 2024. № 3 (124). С. 54–59.
4. Каблашова И. В., Логунова И. В., Саликов Ю. А. Инновационное развитие системы управления предприятием в условиях цифровой трансформации // Организатор производства. 2019. № 2. С. 46–58.
5. Грозовский Г.И. Моделирование управления адаптивностью эрготехнических (эргатических) систем: диссертация доктора технических наук: 05.13.16. Москва, 1999. 277 с.
6. Wu G., Feder A., Cohen H., Kim J., Calderon S., Charney D., Mathe D. Understanding resilience // Frontiers in Behavioural Neuroscience. 2013. Vol. 7(10). P. 1–15.
7. Woods D. D., Shattuck, L. G. Distant Supervision–Local Action Given the Potential for Surprise // Cognition, Technology & Work. 2000. Vol. 2(4). P. 242–245.
8. Dekker S. Failure to adapt or adaptations that fail: contrasting models on procedures and safety // Applied Ergonomics. 2003. Vol. 34(3). P. 233–238.
9. Lagadec P. La Question des Plans: nécessité tactique, risques stratégiques [Plans in question: tactical necessity, strategic risks] // Préventique-Sécurité. 2010. Vol. 110. P. 25–28.
10. Котельников В. С., Трубецкой Н. К., Грозовский Г. И., Макушкин А. С. Применение адаптивной системы управления промышленной безопасности на горнорудной промышленности // Промышленность и безопасность. 2024. № 11-12 (205/206). С. 70–73.
11. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. Введ. 2015-11-01. – М.: Стандартинформ, 2015.

References

1. Aleksandrovsky, N.M., Egorov, S.V., Kuzin, R.E. Adaptivnye sistemy avtomaticheskogo upravleniya slozhnymi tekhnologicheskimi processami = Adaptivnye sistemy upravleniya [Adaptive Automatic Control Systems for Complex Technological Processes = Adaptive Control Systems]. Moscow, Energiya, 1973, 272 p.
2. Muradova, D., Karaeva, A. Obogashchaemost' gornorudnyh kompleksov: innovacionnye tekhnologii dlya povysheniya proizvoditel'nosti [Enrichability of Mining Complexes: Innovative Technologies for Increasing Productivity]. Innovacionnaya nauka. 2024, no. 8, pp. 73–74.
3. Samsonova, V. A., Shangin, A. E. Ekonomika i upravlenie adaptivnoj sistemoj promyshlennoj bezopasnosti [Economics and Management of an Adaptive Industrial Safety System]. Diskussiya. 2024, no. 3 (124), pp. 54–59.
4. Kablashova, I. V., Logunova, I. V., Salikov, Yu. A. Innovacionnoe razvitie sistemy upravleniya predpriyatiem v usloviyah cifrovoj transformacii [Innovative Development of Enterprise Management System in the Context of Digital Transformation]. Organizator proizvodstva. 2019, no. 2, pp. 46–58.
5. Grozovskiy, G. I. Modelirovanie upravleniya adaptivnost'yu ergotekhnicheskih (ergaticheskih) sistem [Modeling of Adaptivity Control in Ergonomic (Ergatic) Systems]. Moscow, 1999, 277 p.
6. Wu, G., Feder, A., Cohen, H., Kim, J., Calderon, S., Charney, D., Mathe, D. Understanding Resilience. Frontiers in Behavioural Neuroscience. 2013, no. 7(10), pp. 1–15.
7. Woods D. D., Shattuck, L. G. Distant Supervision–Local Action Given the Potential for Surprise. Cognition, Technology & Work. 2000, no. 2(4), pp. 242–245.
8. Dekker, S. Failure to adapt or adaptations that fail: contrasting models on procedures and safety. Applied Ergonomics. 2003, no. 34(3), pp. 233–238.
9. Lagadec, P. La Question des Plans: nécessité tactique, risques stratégiques [Plans in question: tactical necessity, strategic risks]. Préventique-Sécurité. 2010, no. 110, pp. 25–28.
10. Kotelnikov, V. S., Trubetskoy, N. K., Grozovskiy, G. I., Makushkin, A. S. Primenenie adaptivnoj

12. Пакулин Н. В., Лаврищева Е. М., Рыжов А. Г., Зеленов С. В. Анализ методов оценки надежности оборудования и систем. Практика применения методов // Труды ИСП РАН. 2018. № 3. С. 99–120.
13. Branlat M., Woods, D.D. How do Systems Manage Their Adaptive Capacity to Successfully Handle Disruptions? A Resilience Engineering Perspective // Complex Adaptive Systems –Resilience, Robustness, and Evolvability: Papers from the AAAI Fall Symposium (FS-10-03). 2010. P. 26–34.
14. Hardin G. The tragedy of the commons // Science. 1968. Vol. 162(3859). P. 1243–1248.
15. Ostrom E. Coping with Tragedies of the Commons // Annual Reviews in Political Science. 1999. Vol. 2(1). P. 493–535.
16. Branlat M., Fern L., Voshell M., Trent S. Understanding Coordination Challenges in Urban Firefighting: A Study of Critical Incident Reports // In Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society. 2009. P. 284–288.
17. Grote G., Zala-Mezö E., Grommes P. The Effects of Different Forms of Coordination on Coping with Workload // In R. Dietrich & T. M. Childress (Eds.), Group Interaction in High-Risk Environments. 2004. P. 39–54.
18. Woods D. D., Shattuck L. G. Distant Supervision–Local Action Given the Potential for Surprise // Cognition, Technology & Work. 2000. Vol. 2(4). P. 242–245.

sistemy upravleniya promyshlennoj bezopasnosti na gornorudnoj promyshlennosti [Application of an adaptive industrial safety management system in the mining industry]. Promyshlennost' i bezopasnost'. 2024, no. 11–12 (205/206), pp. 70–73.
11. GOST R ISO 9001-2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya [Quality Management Systems. Requirements. Introduction]. Moscow, Standartinform, 2015.
12. Pakulin, N. V., Lavrishcheva, E. M., Ryzhov, A. G., Zelenov. S. V. Analiz metodov ocenki nadezhnosti oborudovaniya i sistem. Praktika primeneniya metodov [Analysis of Methods for Assessing the Reliability of Equipment and Systems. Practice of Applying Methods]. Trudy ISP RAN. 2018, no. 3, pp. 99–120.
13. Branlat, M., Woods, D.D. How do Systems Manage Their Adaptive Capacity to Successfully Handle Disruptions? A Resilience Engineering Perspective. Complex Adaptive Systems –Resilience, Robustness, and Evolvability: Papers from the AAAI Fall Symposium (FS-10-03). 2010, pp. 26–34
14. Hardin, G. The tragedy of the commons. Science. 1968, no. 162(3859), pp. 1243–1248.
15. Ostrom, E. Coping with Tragedies of the Commons. Annual Reviews in Political Science. 1999, no. 2(1), pp. 493–535.
16. Branlat, M., Fern, L., Voshell, M., Trent, S. Understanding Coordination Challenges in Urban Firefighting: A Study of Critical Incident Reports. In Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society. 2009, pp. 284–288.
17. Grote, G., Zala-Mezö, E., Grommes, P. The Effects of Different Forms of Coordination on Coping with Workload. In R. Dietrich & T. M. Childress (Eds.), Group Interaction in High-Risk Environments. 2004, pp. 39–54.
18. Woods, D. D., Shattuck, L. G. Distant Supervision–Local Action Given the Potential for Surprise. Cognition, Technology & Work. 2000, no. 2(4), pp. 242–245.