

ISSN 2658-5340 (Print)



СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 2010 г.

**CONSTRUCTION
PRODUCTION**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**№1
2025**

Рекомендован высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки РФ
для публикации научных работ, отражающих основное содержание диссертаций

Журнал включён в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)



**Лapidус
Азарий Абрамович**
ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

АБРАМОВ И. Л. – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
АШИХМИН О. В. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»
АШРАПОВ А. Х. – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»
ГУРЬЕВА В. А. – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»
ЗЕЛЕНЦОВ Л. Б. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
ИБРАГИМОВ Р. А. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»
ИГНАТЬЕВ А. А. – канд. техн. наук, доцент, ФАУ «РОСДОРНИИ», Управление развития отраслевого образования
КАЗАКОВ Д. А. – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
КОНДРАТЬЕВ В. А. – канд. техн. наук, доцент, Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт им. Мирзо Улугбека, Узбекистан
КОРОБКОВ С. В. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
КРЮКОВ К. М. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
КУЗИНА О. Н. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
КУЗЬМИНА Т. К. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ЛЕОНОВИЧ С. Н. – д-р техн. наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь
ЛОГАНИНА В. И. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
МАИЛЯН Л. Р. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
МАЛАЕВ В. Ф. – канд. техн. наук, доцент, Ливанский Университет, факультет Искусств и Архитектуры, Ливанская Республика
МАКАРОВ К. Н. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет»
МЕНЕЙЛЮК А. И. – д-р техн. наук, профессор, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Республика Украина
МОЛОДИН В. В. – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» (Сибстрин)
МОНДРУС В. Л. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
МОРОЗЕНКО А. А. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ОЛЕЙНИК П. П. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ПИКУС Г. А. – канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет»
ПОПОВА О. Н. – канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова»
САБИТОВ Л. С. – д-р техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
СУЛЕЙМАНОВА Л. А. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»
ТАМРАЗЯН А. Г. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ТЕР-МАТИРОСЯН А. З. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ФЕДОСОВ С. В. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
ФЕДЮК Р. С. – д-р техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
ФОМИН Н. И. – канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»
ХАВИН Д. В. – д-р эконом. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
ЦОПА Н. В. – д-р эконом. наук, профессор, ФГОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Академия строительства и архитектуры
ЭКЛЕР Н. А. – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова»
ЮДИНА А. Ф. – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
ЮСУПОВ Х. И. – канд. техн. наук, профессор, Ташкентский архитектурно-строительный университет, Узбекистан



СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕСУРСНОЙ И ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КООРДИНАЦИИ
Лapidус А. А., Красновский Б. М., Муртазаев С.-А. Ю., Алиев С. А. 3

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЭС
Морозенко А. А., Федчиков В. А. 8

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
Экба С. И., Лаврентьев И. А. 13

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
Абрамов И. Л., Красновский Б. М., Носков В. А., Костерин В. А. 18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЗАТРАТ ТРУДА ОТ ДИАМЕТРА И ШАГА АРМАТУРЫ
Шилов Д. В. 26

МАТРИЦА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ И ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА
Полосина К. В., Фатуллаев Р. С. 30

СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ОБОЛОЧКИ БАШЕННОЙ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ ГРАДИРНИ
Экба С. И., Ялунин Г. Г. 36

РАЗРАБОТКА КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ (КРІ) ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕМОНТНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ
Кустикова Ю. О., Смолина Л. Ф., Панкова Е. В. 41

СРЕДА ОБЩИХ ДАННЫХ КАК ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ
Абрамов И. Л., Григорьев М. И. 47

РИСКИ НЕСОБЛЮДЕНИЯ КРИТЕРИЕВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНЫХ РАБОТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
Самарин А. Ю., Байбурин А. Х. 55

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
Павлов А. С., Островский Р. В. 62

ПРЕДПРОЕКТНАЯ ПОДГОТОВКА СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ
Олейник П. П., Гречаниченко А. А. 67

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ЗРЕЛОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
Загрудинов И. Ф. 72

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ПРИМЕРЕ ВНЕДРЕНИЯ «ЦИФРОВОГО РУБЛЯ»
Шестерикова Я. В., Андрианов В. Н. 78

СТРУКТУРНЫЕ, РЕСУРСНЫЕ И ПРОЦЕССНЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
Воронков И. Е., Островский Р. В., Гамов Б. А., Тактаев И. А. 81

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА КЛАССИФИКАТОРА СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
Попова О. Н.	87
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОНТРОЛЕ	
Лapidус А. А., Хитрова Т. И., Шукин А. Ю.	92
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	
Болотова А. С., Цыпкин А. С., Частова В. Ю.	99

Материалы X Международной научно-практической конференции «Технологии, организация и управление в строительстве – 2024» TOMiC-2024

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА СОЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	
Хубаев А. О., Езаов А. О., Боровкова А. Е., Чеченов Т. И.	107
ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ФУТЕРОВОК ГАЗОХОДОВ СРЕДСТВАМИ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ УРАЛА	
Пермяков М. Б., Пашков Е. И.	112
ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ПЕРЕГОРОДОК ПОВЫШЕННОЙ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ	
Макаров А. Н., Федоренко С. В.	119

УДК 69.059:620.193 DOI: 10.54950/26585340_2025_1_3

Методология организации строительства комплексного развития территорий для обеспечения ресурсной и логистической координации

Methodology for Organizing the Construction of Integrated Development of Territories to Ensure Resource and Logistics Coordination

Лapidус Азарий Абрамович
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, lapidusaa@mgssu.ru

Lapidus Azariy Abramovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, lapidusaa@mgssu.ru

Красновский Борис Михайлович
Доктор технических наук, профессор, научный консультант ООО «Научно-исследовательский институт проектирования, технологии и экспертизы в строительстве», Россия, 119180, Москва, улица Большая Полянка, 51А/9, bmk-001@yandex.ru

Krasnovsky Boris Mikhailovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Consultant, Scientific Research Institute of Design, Technology and Expertise in Construction, Russia, 119180, Moscow, ulitsa Bolshaya Polyanka, 51A/9, bmk-001@yandex.ru

Муртазаев Сайд-Альви Юсупович
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии строительного производства», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова» (ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова), Россия, 364051, Чеченская Республика, Грозный, проспект им. Х. А. Исаева, 100, s.murtazaev@mail.ru

Murtazaev Said-Alvi Yusupovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction Production Technologies, Grozny State Oil Technological University named after Academician M. D. Millionshchikov (GGNTU named after Academician M. D. Millionshchikov), Russia, 364051, Chechen Republic, Grozny, prospekt imeni Kh. A. Isaeva, 100, s.murtazaev@mail.ru

Алиев Саламбек Алимбекович
Кандидат технических наук, доцент, директор Института строительства, архитектуры и дизайна, ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова» (ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова), Россия, 364051, Чеченская Республика, Грозный, проспект им. Х. А. Исаева, 100, asa-fenix@mail.ru

Aliev Salambek Alimbekovich
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Construction, Architecture and Design, Grozny State Petroleum Technical University named after Academician M. D. Millionshchikov (GGNTU named after academician M. D. Millionshchikov), Russia, 364051, Chechen Republic, Grozny, prospekt imeni Kh. A. Isaeva, 100, asa-fenix@mail.ru

Аннотация.
Введение. Настоящее исследование посвящено разработке методологии организации строительства в рамках проектов комплексного развития территорий (КРТ), направленной на обеспечение ресурсной и логистической координации. В настоящее время отсутствует инструмент, позволяющий системно организовывать строительство на этапе планирования, обеспечивая эффективное взаимодействие между участниками строительного процесса. В связи с этим предлагается концепция «Проекта организации строительства развития территорий» (ПОС РТ), который интегрирует решения по инженерной подготовке, логистике и управлению строительными потоками.
Материалы и методы. Исследование основано на анализе жизненного цикла объектов КРТ, выявлении недостатков существующих методологий организации территориального планирования и строительной логистики. Проведено сравнение пообъектного проекта организации строительства (ПОС) и предлагаемого ПОС РТ. Используются методы цифрового моделирования, математического анализа логистических потоков и системного подхода к управлению строительными ресурсами.
Результаты. ПОС РТ представляет собой комплексный документ технологии и организации строительства, состоящий из моделей внешнего и внутреннего контура. Внешний контур включает транспортную доступность, заплотщадочную инженерную инфраструктуру и инженерную защиту территории. Внутренний контур определяет расположение промышленных зон, складов, бытовых городков, внутренних дорог и инженерных сетей.
Выводы. Введение ПОС РТ позволит оптимизировать процессы строительства в КРТ, управлять сроками реализации проектов, минимизировать издержки и повысить качество среды обитания человека. Разработанная методология применима к различным регионам страны и мира и может быть использована в рамках совершенствования градостроительного регулиро-

вания и проектного управления.

Ключевые слова: комплексное развитие территорий (КРТ); проект организации строительства развития территорий; ресурсы;

Abstract.

Introduction. This study is devoted to the development of a methodology for organizing construction within integrated territorial development projects (IDT) aimed at ensuring resource and logistics coordination. Currently, there is no tool that allows for a systematic organization of construction at the planning stage, ensuring effective interaction between participants in the construction process. In this regard, the concept of the "Project for the Organization of Construction of Territorial Development" (POC TD) is proposed, which integrates solutions for engineering preparation, logistics and management of construction flows.

Materials and methods. The study is based on the analysis of the life cycle of IDT objects, identifying the shortcomings of existing methodologies for territorial planning and construction logistics. A comparison of the traditional construction organization project (POC) and the proposed POC TD is carried out. The methods of digital modeling, mathematical analysis of logistics flows and a systems approach to the management of construction

Введение

В связи с заметным усилением развития отдельных регионов в частности и всей страны в целом в последние десятилетия, вопросы комплексного развития территорий (КРТ) приобрели особую значимость [1]. Развитие городской инфраструктуры, повышение качества жизни населения и обеспечение устойчивого роста экономики стали ключевыми направлениями государственной политики. Поэтому введение таких законодательных инициатив, как Федеральный закон № 494-ФЗ «О комплексном развитии территорий», и реализация национальных проектов, направленных на улучшение городской среды, требуют совершенствования методологии организации строительства [2]. Это особенно важно для регионов с активным экономическим и демографическим ростом, таких как Чеченская Республика.

Как известно, Чеченская Республика демонстрирует высокую динамику территориального развития. Согласно данным, представленным в рамках программы развития региона до 2035 года, предполагается реализация более 150 проектов комплексной застройки общей площадью свыше 1,5 миллиона квадратных метров [3]. Ключевыми направлениями являются реконструкция центральных районов города Грозный, строительство новых объектов социальной значимости, модернизация инфраструктуры сельских поселений. Например, только в 2024 году начато строительство 25 новых школ, 18 медицинских учреждений и более 50 жилых комплексов. Активность в сфере строительства напрямую обусловлена необходимостью ликвидации проблемы аварийного жилья и обеспечения быстро растущего населения качественным жильём и развитой социальной инфраструктурой. На рисунке 1 представлена схема жилищной обеспеченности и аварийности жилья.

Однако при реализации таких масштабных проектов выявляются системные проблемы организационно-технического характера [4; 5]. Среди них:

- низкий уровень координации между заказчиками, проектировщиками и подрядчиками, что приводит к увеличению сроков реализации проектов;

сурсная координация; логистика; цифровое моделирование; устойчивое развитие; организация территорий; проектирование.

resources are used.

Results. POC TD is a comprehensive document that includes models of the external and internal contours of construction. The external contour covers transport accessibility, external engineering infrastructure and engineering protection of the territory. The internal contour defines the location of industrial zones, warehouses, utility towns, internal roads and utility networks.

Conclusions. The introduction of POS TD will optimize construction processes in IDT, reduce project implementation time, minimize costs and improve the quality of the environment. The developed methodology is applicable to various regions of Russia and can be used in the context of improving urban planning regulation and project management.

Keywords: integrated development of territories (IDT); project for organizing construction and development of territories; resource coordination; logistics; digital modeling; sustainable development; organization of territories; design.

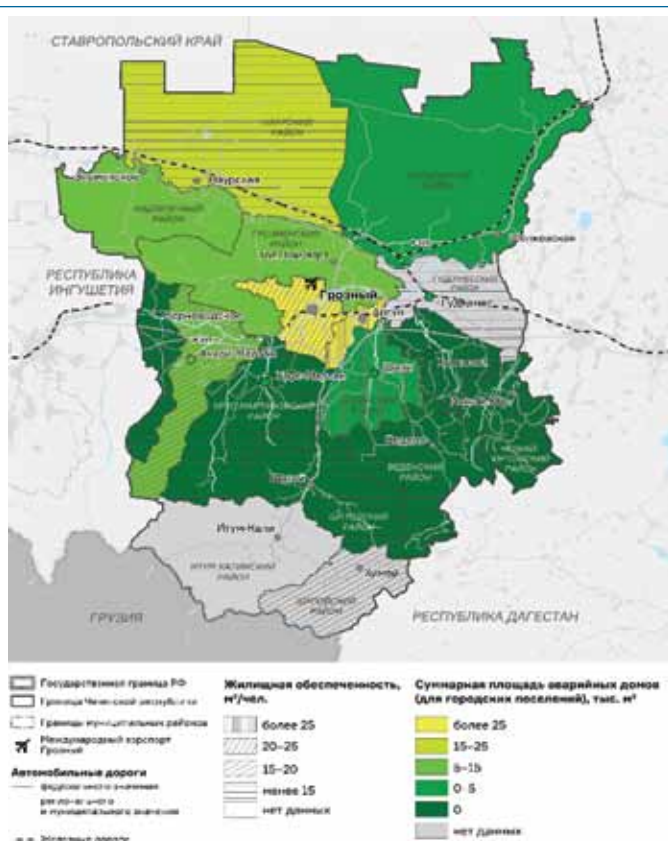


Рис. 1. Схема жилищной обеспеченности и аварийности жилья
Fig. 1. Scheme of housing provision and housing emergency

- недостаточная разработанность логистических решений, что увеличивает издержки на транспортировку строительных материалов;
- ограниченность ресурсов, включая строительную технику и квалифицированные кадры, что также сказывается на качестве работ;
- отсутствие проработанных источников производства строительных материалов, изделий и оборудования;
- отсутствие учёта потребности в разработке мероприятий по инженерной защите осваиваемых территорий;
- низкая интеграция инженерных сетей, что усложняет эксплуатацию объектов.

Уникальные особенности Чеченской Республики также играют значимую роль. Регион отличается сложным рельефом местности, который требует дополнительных затрат на проектирование и строительство [5]. Кроме того, необходимо учитывать сохранение культурно-исторического наследия, особенно в центральных районах города Грозный. Например, проекты реконструкции исторического центра требуют балансировки между модернизацией инфраструктуры и сохранением архитектурного облика.

На данный момент существующие методологии проектирования и организации строительства, основанные на типовых решениях, часто не учитывают специфику регионов, что делает их малоприменимыми в условиях Чеченской Республики. Так, в ходе реализации нескольких крупных проектов, включая реконструкцию стадиона «Ахмат-Арена» и строительство жилых комплексов в Наурском районе, были выявлены значительные отставания от графиков и перерасход средств бюджета [6; 7].

Таким образом, возникла объективная необходимость разработки комплексной методологии, которая обеспечит ресурсную и логистическую координацию при реализации проектов КРТ [8; 9]. Такая методология должна учитывать:

- особенности территориального планирования и инженерной подготовки в условиях сложного рельефа;
- интеграцию логистических цепочек для оптимизации использования ресурсов;
- применение цифровых технологий для мониторинга и управления строительными процессами.

Разработка и внедрение методологии позволят повысить эффективность строительных процессов, минимизировать риски и затраты, а также обеспечить устойчивое развитие территорий, способствуя улучшению качества жизни населения [10; 11]. Поэтому результаты данной работы могут найти практическое применение не только в Чеченской Республике, но и в других регионах Российской Федерации, где реализуются проекты комплексного развития территорий.

Цель и задачи проводимых исследований

Целью проводимых исследований является разработка современных подходов к методологии организации строительства проектов комплексного развития территорий (КРТ), обеспечивающей ресурсную и логистическую координацию. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

- 1. Анализ теоретических и практических подходов к организации КРТ.** Необходимо провести исследование существующих моделей организации строительства, чтобы выявить, в чём заключаются основные ограничения и недостатки применяемых подходов. Этот этап также включает обзор практики использования мастер-планов и стандартов КРТ.
- 2. Разработка методологических основ «Проекта организации строительства развития территорий».** В рамках работы предлагается ввести термин «Проект организации строительства развития территорий» (ПОС РТ) — комплексный документ, объединяющий планирование развития территорий и организацию строительства, включая логистическую

и ресурсную координацию. Особое внимание будет уделено определению внешнего и внутреннего контуров в рамках данного проекта.

3. Изучение и моделирование внешнего контура КРТ. Внешний контур включает аспекты, связанные с логистикой, доставкой материалов, инженерной инфраструктурой и инженерной защитой. Изучение данного контура направлено на создание модели оптимальной доставки ресурсов и взаимодействия инфраструктурных элементов, учитывая транспортные и технические ограничения.

4. Организация внутренних ресурсов и инфраструктуры. Внутренний контур включает проектирование элементов, таких как производственные объекты, трудовые ресурсы, внутренние инженерные сети и дорожная инфраструктура. Для достижения эффективного взаимодействия необходимо проработать принципы размещения и использования каждого компонента.

5. Моделирование интеграции контуров и решение динамических задач. Основная задача интеграции внешнего и внутреннего контуров заключается в обеспечении согласованного взаимодействия всех элементов инфраструктуры. На данном этапе используются методы динамического моделирования, позволяющие учесть временные и логистические ограничения.

6. Практическое тестирование разработанной методологии и оценка её эффективности. Для проверки применимости предложенной методологии планируется провести тестирование на конкретных примерах, оценить её влияние на ресурсоёмкость и сроки реализации проектов.

Материалы и методы

Для выполнения поставленных задач используется ряд методологических подходов, включающих следующие этапы:

- Анализ и обобщение данных.** Этот этап предполагает исследование существующих теоретических подходов и сбор эмпирических данных по успешным и неуспешным проектам КРТ. Анализ позволяет выявить проблемные зоны и частые логистические ошибки, а также разработать более эффективные принципы распределения ресурсов и планирования.
- Моделирование внешнего и внутреннего контуров.** Для разработки эффективной модели, основанной на разделении контуров, используется аналитическое и численное моделирование, в том числе с помощью программных пакетов для планирования логистики и инфраструктуры. Внешний контур моделируется на основе анализа потоков строительных материалов, инженерных сетей и параметров окружающей инфраструктуры. Внутренний контур ориентирован на проектирование рабочих площадок, машин, инженерных сетей и объектов для временного размещения.
- Динамическое моделирование интеграции контуров.** Используются методы математического и динамического моделирования для расчёта оптимальных временных рамок и графиков с учётом

переменных факторов: доступности материалов, наличия трудовых ресурсов и графиков логистических поставок [12; 13]. Подходы динамического моделирования дают возможность оценить сценарии, настраивая модель на использование различных типов ресурсов и методов организации.

Результаты

В результате исследования будет разработана методология организации строительства, включающая «Проект организации строительства развития территорий» – единый документ, учитывающий все аспекты планирования и координации ресурсов. Предполагается, что предложенная методология позволит сократить сроки строительства и повысить его экономическую эффективность за счёт более слаженного взаимодействия логистических и строительных процессов. Введение внешнего и внутреннего контуров как концептуальных единиц поможет лучше контролировать распределение ресурсов, синхронизировать поставки и повысить устойчивость инфраструктуры. Оптимизация логистических потоков обеспечит снижение нагрузки на транспортные артерии, что позволит снизить издержки на транспортировку и сократить временные затраты.

Практическая значимость исследования будет заключается в возможности применения разработанной методологии при реализации КРТ в различных регионах Российской Федерации. Это позволит повысить качество планирования и выполнения проектов, сократить сроки их реализации и минимизировать издержки. Предложенная методология может быть интегрирована в региональные программы развития и использоваться органами государственной власти, проектными организациями и строительными компаниями.

Обсуждение

В рамках исследования будет обоснована методология организации строительства, обеспечивающая комплексный подход к проектам комплексного развития территорий. Суть данной методологии заключается в интеграции внешнего (логистического и инфраструктурного) и внутреннего (технологического и ресурсного) контуров, а также в использовании динамических методов планирования и управления строительными процессами. Благо-

даря этому удастся оптимизировать распределение строительных ресурсов, обеспечить своевременную доставку материалов и согласовать работу различных участников проекта.

Предлагаемая методология в виде «Проекта организации строительства развития территорий» (ПОС РТ) ориентирована не только на базовое планирование, но и на логистическую координацию и применение цифровых инструментов мониторинга и контроля. Внедрение такой методологии в практику реализации проектов КРТ будет способствовать повышению эффективности строительного процесса и устойчивому развитию территорий. Кроме того, использование системы динамического моделирования позволит оперативно реагировать на изменения условий и корректировать планы, что особенно важно для регионов со сложным рельефом и активным ростом населения.

Заключение

Таким образом, данное исследование формирует научную основу для современной организации строительства, применимой на всех уровнях проектов КРТ – от этапа предпроектных решений до ввода объектов в эксплуатацию.

Ожидается, что реализация описанной методологии повысит устойчивость и качество городской среды, а также упростит процессы взаимодействия между различными участниками проектов в сфере строительства. Практическое применение полученных результатов, опирающихся на единую методологическую базу, может способствовать развитию интегративного подхода к комплексному развитию территорий, повышению эффективности градостроительных решений и улучшению качества жизни населения во многих регионах Российской Федерации.

Реализация проектов комплексного развития территорий требует современных подходов к организации строительства, которые учитывают особенности регионов, координируют ресурсы и логистические потоки и используют цифровые технологии. Предлагаемая методология отвечает этим требованиям и обладает потенциалом для масштабирования и дальнейшего совершенствования в различных субъектах Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попкова, А. А. Комплексное развитие территорий: современное состояние и проблемы реализации / А. А. Попкова, Ю. М. Конев, М. В. Канюков. – DOI 10.31660/1993-1824-2023-2-38-53 // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. – 2023. – № 2. – С. 38–53.

2. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 01.01.2025) : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года // КонсультантПлюс : [интернет-портал]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 01.03.2025).

3. Стратегия социально-экономического развития Чеченской Республики до 2035 года направлена на развитие инфраструктуры и достижение высокого уровня жизни / Пресс-служба Главы и Правительства Чеченской Республики // Официальный сайт Главы Чеченской Республики :

[интернет-ресурс]. – URL: <https://chechnya.gov.ru/development-strategy-2035> (дата обращения: 01.03.2025).

4. Лapidус, А. А. Проект организации территории (ПОТ) – необходимый элемент комплексного развития территорий (КРТ) / А. А. Лapidус // Строительное производство. – 2024. – № 3 (51). – С. 2–6.

5. Лapidус, А. А. Организационно-технологическая надёжность производственно-логистических процессов в строительстве / А. А. Лapidус, Г. Б. Сафарян // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 3 (93). – С. 148–152.

6. Лapidус, А. А. Обоснование процесса выбора организационно-технологических решений / А. А. Лapidус, П. П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 5. – С. 70–74.

7. Ageeva, Y. D. Совершенствование систем материально-технического снабжения на строительной площадке / Я. Д. Ageeva, А. В. Иконникова, А. А. Лapidус. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-772-4-58-74 // Известия вузов. Строительство. –

2023. – № 4. – С. 58–74.

8. Лapidус, А. А. Методы и формы организации строительного производства / А. А. Лapidус, А. Н. Ларионов. – Москва : Kno-Рус, 2023. – 224 с.

9. Организация строительства. СНиП 12-01-2004 : СП 48.13330.2019 : Свод правил : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2019 г. № 861/пр : введён в действие с 25 июня 2020 г. / Росстандарт. – Москва : Минстрой России, 2019. – 150 с. – Издание официальное.

10. Lapidus, A. A. Systemic Integrated Method For Assessing Factors Affecting Construction Timelines / A. A. Lapidus, I. L. Abramov // Matec Web of Conferences : 2018 International Scientific Conference Environmental Science for Construction

REFERENCES

1. Popkova, A. A. Kompleksnoe razvitie territorij: sovremennoe sostoyanie i problemy realizatsii [Complex development of territories: current state and problems of implementation] / A. A. Popkova, Yu. M. Konev, M. V. Kanyukov. – DOI 10.31660/1993-1824-2023-2-38-53 // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Sotsiologiya. Ehkonomika. Politika [News of higher educational institutions. Sociology. Economy. Politics]. – 2023. – No. 2. – Pp. 38–53.

2. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii [The Urban Planning Code of the Russian Federation] : Federal'nyj zakon ot 29.12.2004 № 190-FZ (red. ot 01.01.2025) [Federal Law No. 190-FZ of 29.12.2004 (as amended on 01.01.2025)] : prin-yat Gosudarstvennoj Dumoj 22 dekabrya 2004 goda [adopted by the State Duma on December 22, 2004] : odobren Sovetom Federatsii 24 dekabrya 2004 goda [approved by the Federation Council on December 24, 2004] // Konsul'tantPlyus [ConsultantPlus] : [Internet portal]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (accessed 01 March 2025).

3. Strategiya sotsial'no-ehkonomicheskogo razvitiya Chechenskoj Respubliki do 2035 goda napravlena na razvitie infrastruktury i dostizhenie vysokogo urovnya zhizni [The Strategy of Socio-Economic Development of the Chechen Republic until 2035 is aimed at developing infrastructure and achieving a high standard of living] / Press-sluzhba Glavy i Pravitel'stva Chechenskoj Respubliki [Press Service of the Head and Government of the Chechen Republic] // Ofitsial'nyj sayt Glavy Chechenskoj Respubliki [Official website of the Head of the Chechen Republic] : [online resource]. – URL: <https://chechnya.gov.ru/development-strategy-2035> (accessed 01 March 2025).

4. Lapidus, A. A. Proekt organizatsii territorii (POT) – neobkhodimyj ehlement kompleksnogo razvitiya territoriy (KRT) [Territory Organization Project (POT) – Essential Element of Integrated Territory Development (KRT)] / A. A. Lapidus // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2024. – No. 3 (51). – Pp. 2–6.

5. Lapidus, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskaya na-dezhnost' proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov v stroitel'stve [Organizational and Technological Reliability of Production and Logistics Processes in Construction] / A. A. Lapidus, G. B. Safaryan // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and Business: Development Paths]. – 2019. – No. 3 (93). – Pp. 148–152.

6. Lapidus, A. A. Obosnovanie protsessa vybora organizatsionno-

Industry, ESCI 2018, Ho Chi Minh City, 02-05 March 2018. – 2018. – Vol. 193. – Pp. 05033.

11. Bibri, S. E. Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving urban sustainability / S. E. Bibri, J. Krogstie, M. Kärrholm. – DOI 10.1016/j.dibe.2020.100021 // Developments in the Built Environment. – 2020. – Vol. 4. – Art. 100021.

12. Janne, M. Construction Logistics Solutions in Urban Areas / M. Janne. – DOI 10.3384/lic.diva-147536 // Construction Economics and Building. – 2019. – Vol. 19, No. 1. – Pp. 81–97.

13. Saif, W. Construction digital twin: a taxonomy and analysis of the application-technology-data triad / W. Saif, S. RazaviAlavi, M. Kassem. – DOI 10.1016/j.autcon.2024.105715 // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 167. – Art. 105715.

tekhnologicheskikh resheniy [Justification of Organizational and Technological Decision-Making Process] / A. A. Lapidus, P. P. Oleinik // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Construction]. – 2024. – No. 5. – Pp. 70–74.

7. Ageeva, Ya. D. Sovershenstvovanie sistem material'no-tekhnicheskogo snabzheniya na stroitel'noj ploshhadke [Improvement of Material and Technical Supply Systems on the Construction Site] / Ya. D. Ageeva, A. V. Ikonnikova, A. A. Lapidus. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-772-4-58-74 // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [University Proceedings. Construction]. – 2023. – No. 4. – Pp. 58–74.

8. Lapidus, A. A. Metody i formy organizatsii stroitel'nogo proizvodstva [Methods and forms of organization of construction production] / A. A. Lapidus, A. N. Larionov. – Moscow : KnoRus Publ., 2023. – 224 p.

9. Organizatsiya stroitel'stva. SNIp 12-01-2004 [Organization of construction. SNIp 12-01-2004] : SP 48.13330.2019 : Svod pravil [SP 48.13330.2019 : Set of rules] : utverzhdyon prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 24 dekabrya 2019 g. № 861/pr [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 24, 2019 No. 861/pr] : vvedyon v dejstvie s 25 iyunya 2020 g. [effective June 25, 2020] / Rosstandart. – Moscow : Ministroy Rossii [Ministry of Construction of Russia], 2019. – 150 p. – Izдание ofitsial'noe [Official publication].

10. Lapidus, A. A. Systemic Integrated Method For Assessing Factors Affecting Construction Timelines / A. A. Lapidus, I. L. Abramov // Matec Web of Conferences : 2018 International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry, ESCI 2018, Ho Chi Minh City, 02-05 March 2018. – 2018. – Vol. 193. – Pp. 05033.

11. Bibri, S. E. Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving urban sustainability / S. E. Bibri, J. Krogstie, M. Kärrholm. – DOI 10.1016/j.dibe.2020.100021 // Developments in the Built Environment. – 2020. – Vol. 4. – Art. 100021.

12. Janne, M. Construction Logistics Solutions in Urban Areas / M. Janne. – DOI 10.3384/lic.diva-147536 // Construction Economics and Building. – 2019. – Vol. 19, No. 1. – Pp. 81–97.

13. Saif, W. Construction digital twin: a taxonomy and analysis of the application-technology-data triad / W. Saif, S. RazaviAlavi, M. Kassem. – DOI 10.1016/j.autcon.2024.105715 // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 167. – Art. 105715.

Анализ влияния требований нормативно-правовой базы на эксплуатационные характеристики строительных систем на разных этапах жизненного цикла ТЭС

Analysis of the Influence of the Requirements of the Regulatory Documents on the Operational Parameters Building Systems for the Stages of Life Cycle on the Thermal Power Plant Facilities

Морозенко Андрей Александрович

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, morozenkoaa@mgsu.ru

Morozenko Andrey Aleksandrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, morozenkoaa@mgsu.ru

Федчиков Валерий Алексеевич

Аспирант кафедры «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, valeriy.fedchikov@gmail.com

Fedchikov Valeriy Alekseevich

Graduate student of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, valeriy.fedchikov@gmail.com

Аннотация. Настоящее исследование посвящено анализу проблемы избыточности части нормативных требований к проектным решениям зданий объектов тепловой энергетики с целью поиска возможностей для снижения капиталозатрат на строительство новых объектов тепловой генерации энергии.

Для решения поставленной задачи был проведён анализ нормативно-правовой базы, а именно предъявляемых требований к зданию или сооружению тепловой генерации. Изучены основные подходы к техническому регулированию в строительной отрасли.

В результате работы была подтверждена достаточность нормативной базы для качественного проектирования в том числе и современных сложных объектов. Но также обнаружено, что для проектирования зданий ТЭС широко используются общестроительные нормы и правила, не учитывающие некоторых факторов, присутствующих на подобных объектах. Дополнительные специализированные нормативные документы лишь закрывают дополнительные вопросы, возникающие в зданиях, относящихся к объектам тепловой генерации, но не аннулируют

избыточные рекомендации общестроительных документов.

Выявлено несоответствие в сроках эксплуатации оборудования ТЭС и, соответственно, во времени службы объекта энергетики и закладываемого в проект гарантированного времени службы зданий объекта энергетики.

На примере одного из требований показана несостоятельность лобового подхода к проектированию без учёта трансформации требований и методик к особенностям зданий ТЭС.

По итогу было выявлено, что методика рационального применения нормативно-правовой базы на должном уровне квалификации и ответственности участников на всех этапах жизненного цикла объекта энергетики даёт практически полную гарантию отсутствия нештатных или опасных ситуаций. Но в то же время имеют место требования, приводящие к дополнительным капиталозатратам, не улучшающим безопасность зданий объектов энергетики.

Ключевые слова: нормативно-правовая документация, проектные решения, строительство, тепловая энергетика.

tion facilities, but do not cancel redundant recommendations of general construction documents.

The example of one of the requirements shows the inconsistency of the frontal approach to design without taking into account the transformation of requirements and methodologies to the peculiarities of TPP buildings.

As a result, it was revealed that the meaningful application of the requirements of regulatory and legal documentation at the proper level of qualification and responsibility of the participants at all stages of the life cycle of the power engineering facility gives an almost complete guarantee of the absence of abnormal or dangerous situations. But at the same time there are excessive capital expenditures that do not improve the safety of buildings of power facilities.

Keywords: regulatory documentation, design solutions, construction, thermal power plant.

долю: 68 % установленной мощности и 62,5 % выработки электроэнергии [1]. Это делает тепловую энергетику одним из ключевых источников генерации. Большинство

ТЭС, как по количеству, так и по установленной мощности, было введено в эксплуатацию в период с 1965 по 1985 годы, и их срок службы превышает 35 лет, что свидетельствует о значительном износе оборудования.

На текущий момент распределение по возрасту оборудования на блоках выглядит следующим образом [2]:

- от 0 до 20 лет – 8 %,
- от 20 до 30 лет – 8 %,
- от 30 до 40 лет – 25 %,
- от 40 до 50 лет – 33 %,
- более 50 лет – 26 %.

Только 30,6 % оборудования находится в пределах нормативного срока эксплуатации, в то время как 62 % уже исчерпали его, а 7,4 % отработали два и более срока [1]. Из числа ТЭС, которые завершили нормативный срок эксплуатации, 59 % требуют значительной модернизации, а 41 % не имеют достаточных ресурсов для дальнейшей эксплуатации и требуют замены генерирующих мощностей [2].

Всё это говорит о необходимости скорейшего замещения действующего генерирующего оборудования около 30 % от общей мощности генерации. Устройство городских сетей России, климатические условия и множество других факторов требуют, чтобы замещающие мощности также относились к тепловой генерации. Подобные процессы требуют значительных капиталовложений, весомая часть которых уйдёт на строительство зданий и сооружений.

Со стороны строительной отрасли возможность снижения капиталовложений может быть достигнута переоценкой системы принятия организационно-технических решений на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства, а именно поиском несоответствий между различными требованиями нормативной базы с целью найти непрактичные или избыточные требования, не учитывающие специфику объектов энергетики. Отсюда появляется возможность оптимизировать строительные конструкции без потери надёжности здания на период эксплуатации оборудования.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи был проведён анализ нормативно-правовой базы, а именно предъявляемых требований к зданию или сооружению тепловой генерации. Изучены основные подходы к техническому регулированию в строительной отрасли.

Рассматривались основные документы в области строительства, такие как:

- Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ,
- О техническом регулировании. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ,
- ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения (с Изменением № 1),
- СП 56.13330.2021 Производственные здания,
- СП 90.13330.2012 Электростанции тепловые.

Были произведены сравнительный анализ и систематизация нормативной документации, а также имеющейся в открытом доступе информации по производимому оборудованию для ТЭС от различных компаний-производителей для определения нормируемых сроков эксплуатации зданий и оборудования.

Результаты

По результатам анализа нормативно-правовой документации выявлено, что при формировании нормативной базы нашей страны для обеспечения требований надёжности зданий и сооружений использован полувероятностный метод частных коэффициентов надёжности – иначе говоря, учёт отдельных параметров прочности и нагрузок. Подобный метод применяется как один из основных методов оценки надёжности конструкций в нормативной базе большинства стран мира. Обеспечение безопасности жизни и здоровья людей, а также сохранности их имущества от различных угроз является главным критерием при подборе учитываемых параметров и коэффициентов [3].

В статье Йохана Кёхлера и Джона Д. Соренсена (Jochen Köhler, John D. Sørensen) авторы рассуждают об упрощении расчётных показателей и методов расчёта в пользу завышения закладываемой в конструкции прочности, прописанных в нормативной документации, и возможным потенциале уточнения расчётов для последующей оптимизации материалоемкости конструкций. Данная проблема актуальна и для отечественных норм. В частности, аналогичную проблему поднимает в своей статье Зенин С. А. Он выдвинул предложения по совершенствованию национальной нормативной базы в части вероятностных расчётов железобетонных конструкций и сбора необходимых данных для вероятностных расчётов согласно риск-информированному подходу.

Принципы обеспечения надёжности проектируемых зданий и сооружений в отечественных и зарубежных нормативных системах имеют много общего и основываются на методе предельных состояний, при этом используются как обязательные, так и рекомендуемые параметры для различных расчётных ситуаций. В зарубежных нормативных документах, в частности в ИСО 2394:2016 [4], подчёркивается, что все социальные и экономические критерии, а также показатели эффективности могут быть соблюдены только после выполнения всех требований к надёжности и безопасности людей. В международных стандартах, таких как ИСО 2394:2016 [4], новая редакция Еврокода 1990 [5] и стандарты ряда других стран, в последнее время активно внедряются три уровня верификации надёжности – это риск-информированный подход [6–10].

Риск-информированный подход – подход на основе вероятностной оценки надёжности и полувероятностный подход, который основывается на расчётных значениях основных переменных и частных коэффициентах надёжности [6–10].

Применение зарубежных стандартов при проектировании объектов строительства на территории РФ без учёта требований отечественной нормативной базы и климатических условий территории России, без подготовки профессиональных кадров проектировщиков и экспертов, способных работать в данной парадигме, было бы неправильным и могло бы привести к самым серьёзным последствиям.

Для более точного определения параметров возможно использовать вероятностные оценки для обеспечения надёжности и безопасности конструкций зданий. Вопрос подобных оценок часто поднимает в своих работах Тамразян А. Г. [11; 12]. В них он приводит основы оценки риска и обеспечения безопасности, концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций и многие другие параметры. Все эти параметры содержат под собой

№ пп.	Параметр	Документ	Нормируемый срок эксплуатации	
			Характеристика	Срок
1	Срок эксплуатации зданий	ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения (с Изменением № 1).	Минимальный	50...100 лет
2			Рекомендуемый	Более 100 лет
3			Рекомендуемый	100000 ч. (25 лет)*
4			Продление нормируемое	150000 ч. (37 лет)*
5	Срок эксплуатации тепломеханического оборудования	ГОСТ Р 59182-2020. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Тепловые электрические станции. Газотурбинные установки. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования.	Продление максимальное**	200000 ч. (50 лет)*
* Т. к. срок службы оборудования приводится в часах работы, для корректного сравнения при переводе в года учитывается коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), в среднем для России равный 46,05 % (за 2021 год). Значение лет округлено до ближайшего целого значения.				
** Дальнейшее продление допустимо только по результатам индивидуальных обследований элементов оборудования.				

Табл. 1. Сравнение сроков эксплуатации зданий и оборудования ТЭС
Tab. 1. Comparison of the service life of the buildings and equipment on TPP

математический аппарат, что позволяет масштабировать предлагаемые подходы на любую деятельность проектировщиков.

Дополнительные вероятностные критерии надёжности и методы оценки рисков помогут также при выборе оптимальных проектных и технологических решений при строительстве уникальных зданий и сооружений, сооружений повышенного уровня ответственности, а также при оценке существующих конструкций в течение их жизненного цикла [8–15].

Всё это приводит к формированию универсальных требований, описанных в ГОСТ 27751-2014 [16], к обеспечению надёжности здания или сооружения, расчётному сроку службы в соответствии с уровнем его ответственности на основании технических параметров и функционального назначения. Кроме технических параметров проектируемого здания, требования затрагивают контроль качества материалов и изделий, оценку технического состояния и распространяются как на этап проектирования, так и на этапы эксплуатации, а также реконструкции и демонтажа.

Требования, касающиеся обеспечения надёжности здания или сооружения, делят все здания на 3 класса по уровню ответственности. Подобный подход минимизирует вероятность ошибки, т. к. для каждого класса есть перечень рекомендуемых проверок и необходимых к реализации решений и параметров здания и его конструкций. Но также это вносит в проект избыточные требования из-за того, что в одном классе находятся сооружения разного назначения, с разной спецификой возведения, эксплуатации, демонтажа, требующие различных подходов в проектировании.

Для тепловых электростанций как для объектов жизнеобеспечения городов и населённых пунктов автоматически применяется класс ответственности КС-3. Это автоматически накладывает на здание ТЭС требования,

№ пп.	Тип оборудования	Паспортный срок эксплуатации	Срок эксплуатации с учётом КИУМ ТЭС
1	Паровые котлы	70000...120000 ч.	15–30 лет
2	Котлы утилизаторы	70000...120000 ч.	15–30 лет
3	Паровые турбины (ПТ, ПГУ)	100000...160000 ч.	25–40 лет
4	Газовые турбины (ГТУ)	80000...120000 ч.	20–30 лет
5	Теплообменное оборудование	75000...140000 ч.	15–35 лет

Табл. 2. Срок эксплуатации оборудования ТЭС
Tab. 2. Service lifetime of the equipment on TPP

характерные для уникальных зданий, несмотря на то, что здания тепловых электростанций нечасто имеют те же параметры, что и уникальные здания (высота более 100 м, заглубление более 15 м, большие пролёты, уникальные технические решения и т. п.). Также это влияет и на закладываемый срок эксплуатации здания, т. к., несмотря на рекомендации п. 4.3 ГОСТ 27751-2014 [16], допускающие принятие для зданий и сооружений массового строительства в нормальных условиях эксплуатации производственного назначения примерный срок эксплуатации не менее 50 лет, по практике проектирования и прохождения экспертизы зданиям класса КС-3 срок службы автоматически присваивается как уникальным, с примерным сроком службы 100 лет и более (табл. 1 ГОСТ 27751-2014 [16]).

Для наглядности в таблице 1 приводится сравнение нормативных документов по сроку службы зданий и сооружений и сроку эксплуатации оборудования ТЭС. В таблице 2 приводятся гарантийные сроки эксплуатации для различного оборудования у различных компаний-производителей оборудования для ТЭС мощностью более 4 МВт.

Ввиду того, что срок эксплуатации (ресурс) оборудования определяется производителем, то в таблице 2 приведены сроки службы различного оборудования по типам. Данные получены из каталогов оборудования или статей с официальных сайтов производителей оборудования, таких как АО «Силовые Машины», АО «Уральский турбинный завод», АО «ЛМЗ», АО «Калужский турбинный завод», ООО «Белэнергомаш-БЗЭМ» и т. д.

По итогу сравнения можно обнаружить, что максимальный ресурс оборудования едва ли доходит по времени до минимального гарантируемого времени эксплуатации здания. Т. к. ресурсы оборудования доведены до максимума, то целесообразно вести речь о том, что необходимо на основе жизненного цикла оборудования рассмотреть рациональность применения различных требований к зданиям ТЭС на различных этапах жизненного цикла зданий и сооружений.

В дальнейшем можно говорить о необходимости рассмотрения отдельных требований сводов правил, применяемых при разработке проектных решений, т. к. прямое применение всех требований создаёт запасы прочности и долговечности, гарантированно не востребованные или не оптимально распределённые в течение жизненного цикла здания. В первую очередь, необходимо изучить несоответствие срока службы здания и срока эксплуатации

оборудования, а также возможные решения для этого несоответствия. Срок эксплуатации зданий класса КС-3 обычно определяется в более 100 лет [16], в то время как срок эксплуатации оборудования ограничен 45–50 годами. В теории оборудование заменяется на аналогичное, однако по причине технологического прогресса с течением времени возможность установить полный аналог оборудования исчезает. Новое оборудование, даже имея схожие характеристики, будет отличаться по множеству других параметров, в том числе влияющих на строительные решения [17; 18]. Подобная проблема приводит к тому, что генерирующие мощности чаще замещают, а не реконструируют или перевооружают [19], а здания в пригодном техническом состоянии сносятся, что говорит о нерациональном использовании различных ресурсов.

Обсуждение

В качестве показательного примера можно привести одно из требований пункта 5.1 СП 56.13330.2021 «Производственные здания» о необходимости расчёта здания на прогрессирующее обрушение и, следовательно, выполнение требований, связанных с повышением сопротивляемости конструкций к прогрессирующему обрушению (ПО).

Требование к необходимости расчёта на ПО возникают в результате присвоения зданиям ТЭС класса сооружений КС-3 по ГОСТ 27751-2014 (Прил. А) [16]. Повышенный класс сооружений генерации энергии имеет смысл, т. к. повышает запас прочности зданий, необходимых для жизнедеятельности городов, а следовательно, снижает вероятность выхода подобного объекта из строя при различных негативных сценариях (ошибки строительства, некачественный материал, ошибки проектирования, природные катаклизмы, техногенные аварии).

Требование о необходимости противодействию ПО, принимаемое по общестроительным нормам, здесь кажется логичным. Но анализ случившихся аварий показывает, что ситуации, при которых конструкции получают повреждения, связаны с отказом оборудования и последующими пожаром и (или) взрывом. Конструкции здания получают урон либо в течение продолжительного времени и на значительной площади, либо одномоментно, также на значительной площади. Воздействие, приводящее к обрушению, будет направлено сразу на множество конструкций и повлечёт их одномоментное обрушение. При этом условия расчётной ситуации, описанной в СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения», не выполняются, т. к. условие требует сохранения прочности конструкции при локальном разрушении, т. е. разрушении одного элемента.

Подобный расчёт в большинстве случаев покажет необходимость увеличения сечений металлоконструкций

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные характеристики российской электроэнергетики / Министерство энергетики РФ : [официальный сайт]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/power-industry/main-characteristics-russian-electric-power-industry>.
2. ИТС 38-2022. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии : Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям : утверждён Приказом Росстандарта от 20.12.2022 № 3227 / Минпромторг России. – Москва : Росстандарт, 2022. – URL: https://e-ecolog.ru/docs/-LZFRltKef6koERWh_dhU/1146.
3. Лебедева, И. В. Анализ современных подходов к оценке

каркаса здания и, соответственно, увеличение капиталовложений на этапе строительства, что в ряде случаев может иметь негативные последствия уже на этапе принятия решения о возможности строительства объекта энергетики. Наиболее действенными методами борьбы с потенциальным обрушением конструкций здания главного корпуса ТЭС будут монтаж качественной огнезащиты строительных конструкций, эффективной автоматической системы пожаротушения, установка легко сбрасываемых конструкций, а также локализация аварии путём изменения компоновочных решений блоков ТЭС [20].

Отсюда следует, что соблюдение требования при формализованном подходе к принятию решений заказчиком и проектировщиком может создать ложную уверенность в надёжности конструкций при аварийной ситуации, в то же время заставив проигнорировать наиболее оптимальные для безопасности и капиталозатрат решения.

Заключение

Методика рационального применения нормативно-правовой базы для различных этапов ЖЦ ТЭС на должном уровне квалификации и ответственности участников на всех этапах жизненного цикла объекта энергетики даёт практически полную гарантию отсутствия нештатных или опасных ситуаций. Но в то же время имеют место избыточные капиталозатраты, расходуемые на технические решения, не повышающие безопасность зданий объектов энергетики.

Возможно обосновать корректировку норм с учётом специфики работы и продолжительности эксплуатации ТЭС для обеспечения снижения затрат на возведение зданий при сохранении или повышении надёжности и безопасности зданий. Для этого возможно использовать риск-информированный подход, оценку надёжности состояния, прогнозирование срока службы, оценку живучести строительных конструкций и т. д.

В продолжении исследования необходимо определить универсальные критерии проекта ТЭС для различных этапов жизненного цикла, а также их вес в различных ситуациях. На основании полученных критериев и их веса необходимо разработать математическую модель оценки влияния различных требований на проект с целью последующего обоснования изменения отдельных требований, не способствующих повышению надёжности и безопасности зданий ТЭС, под специфику проектирования, строительства, эксплуатации и демонтажа тепловых электростанций.

Необходимо разработать методы и алгоритмы прогнозирования, оценки эффективности и принятия объёмно-планировочных, конструктивных и организационно-технических решений на всех этапах жизненного цикла, не вредящих качеству и надёжности строительных систем объектов энергетики.

надёжности в строительстве / И. В. Лебедева, Т. А. Петрова // Вестник НИЦ «Строительство». – 2023. – Т. 38, № 3. – С. 20–36. – URL: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-20-36](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-20-36).
4. ISO 2394:2015. General principles on reliability for structures : International Standard. – 4 edition. – 2015. – 111 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/58036.html>.
5. EN 1990:2002+A1. Eurocode - Basis of structural design : European Standard. – 2005. – 117 p. – URL: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf>.
6. ISO 15824:2020. Bases for design of structures - General principles on risk assessment of systems involving structures. :

- International Standard. – 2 edition. – 2020. – 62 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/71005>.
- ISO 8930:2021. General principles on reliability for structures – Vocabulary : International Standard. – 2 edition. – 2021. – 60 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/74452.html>.
 - Köhler, J. Codes and standards for structural design – developments and future potential / J. Köhler, J. D. Sørensen, B. Ellingwood // Structural Safety. – 2025. – Vol. 113. – Art. 102495. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2024.102495>.
 - Зенин, С. А. Анализ нормативных документов по проблеме установления данных для выполнения вероятностных расчётов железобетонных конструкций / С. А. Зенин // Вестник НИЦ «Строительство». – 2022. – Т. 33, № 2. – С. 83–96. – URL: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-83-96](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-83-96).
 - Semi-probabilistic methods for the assessment of existing concrete structures: An overview / L. Casti, F. Schmidt, F. Biondini, N. Makhoul // Eighth International Symposium on LifeCycle Civil Engineering, IALCCE 2023, Politecnico di Milano, Jul 2023, Milan, Italy. – 2023. – URL: <https://univ-eiffel.hal.science/hal-04197436v1>.
 - Тамразян, А. Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений / А. Г. Тамразян // Железобетонные конструкции. – 2023. – Т. 3, № 3. – С. 62–74. – URL: <https://doi.org/10.22227/2949-1622.2023.3.62-74>.
 - Тамразян, А. Г. Методология анализа и оценки надёжности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций / А. Г. Тамразян // Железобетонные конструкции. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 5–18. – URL: <https://www.g-b-k.ru/jour/article/view/4>.
 - Faultlessness of composite enclosing structures with thin-sheet linings and effective thermal insulation Reliability of Buildings and Constructions / V. Bobryashov, M. Bobryashov, A. Bobryashova, N. Bushuev // XXII International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2019), May 29, 2019. – Vol. 97. – Art. 04068. – URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704068>.
 - Pinus, B. Statistical features of concrete destruction at background intensity of seismic impacts / B. Pinus, A. Kustov, S. Sergeev. – DOI 10.1051/mateconf/201821201020 // MATEC Web of Conferences : International Scientific Conference

REFERENCES

- Osnovnye kharakteristiki rossijskoj ehlektroehnergetiki [Main characteristics of the Russian electric power industry] / Ministerstvo ehnergetiki RF [Ministry of Energy of the Russian Federation] : [official website]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/power-industry/main-characteristics-russian-electric-power-industry>.
- ITS 38-2022. Szhiganie topliva na krupnykh ustanovkakh v tselyakh proizvodstva ehnergii : Informatsionno-tekhnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam [ITS 38-2022. Fuel combustion at large installations for energy production : An information and Technical Guide to the best available technologies] : utverzhdyon Prikazom Rosstandarta ot 20.12.2022 № 3227 [approved by Rosstandart Order No. 3227 dated 12/20/2022] / Minpromtorg Rossii [Ministry of Industry and Trade of Russia]. – Moscow : Rosstandart, 2022. – URL: https://e-ecolog.ru/docs/-LZFRltKef6koERWh_dhU/1146.
- Lebedeva, I. V. Analiz sovremennykh podkhodov k otsenke nadozhnosty v stroitel'stve [Analysis of modern approaches to reliability assessment in construction] / I. V. Lebedeva, T. A. Petrova // Vestnik NITS «Stroitel'stvo» [Bulletin of SIC "Construction"]. – 2023. – Vol. 38, No. 3. – Pp. 20–36. – URL: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3\(38\)-20-36](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-20-36).
- ISO 2394:2015. General principles on reliability for structures : International Standard. – 4 edition. – 2015. – 111 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/58036.html>.
- EN 1990:2002+A1. Eurocode - Basis of structural design : European Standard. – 2005. – 117 p. – URL: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf>.
- ISO 13824:2020. Bases for design of structures - General prin-

- “Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities” (ICRE 2018), October 15, 2018. – 2018. – Vol. 212. – Art. 01020.
- Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон РФ от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ : принят Государственной Думой 23 декабря 2009 года : одобрен Советом Федерации РФ 25 декабря 2009 года // Справочная правовая система Консультант-Плюс : [интернет-ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720.
 - ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения (с Изменением № 1) : Межгосударственный стандарт : принят протоколом Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации 14 ноября 2014 г. № 72-П : введён в действие 01.07.2015 : Изменение № 1 утверждено и введено в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23.12.2022 № 1571-ст с 01.02.2023 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 27 с. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=188877>.
 - Федчиков, В. А. Выбор критериев для оценки наиболее перспективных проектов реконструкции и технического перевооружения ТЭС / В. А. Федчиков, А. А. Морозенко // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023 : Сборник докладов IV Национальной научной конференции, 15 декабря 2023 года, Москва. – Москва : Издательство МИСИ–МГСУ, 2024. – С. 912–918.
 - Гаак, В. К. Пути реконструкции оборудования промышленной ТЭЦ при переводе на сжигание других видов топлива: на примере Омской ТЭЦ-5 : дис. ... канд. тех. наук : 05.14.04 / Гаак Виктор Климентьевич. – Омск, 1999. – 160 с.
 - Вводы и выводы оборудования / Министерство энергетики РФ : [официальный сайт]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/power-industry/inputs-and-outputs-equipment>.
 - Белов, В. В. Повышение безопасности промышленных зданий на основе альтернативных компоновочных решений (на примере главных корпусов ТЭС): дис. ... канд. тех. наук : 05.26.02 / Белов Вячеслав Васильевич ; МГСУ. – Москва, 2018. – 214 с.

ciples on risk assessment of systems involving structures. : International Standard. – 2 edition. – 2020. – 62 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/71005>.

- 2023. – Vol. 3, No. 3. – Pp. 62–74. – URL: <https://doi.org/10.22227/2949-1622.2023.3.62-74>.
- Tamrazyan, A. G. Metodologiya analiza i otsenki nadezhnosti sostoyaniya i prognozirovaniye sroka sluzhby zhelezobetonnykh konstruksii [Methodology for analyzing and evaluating the reliability of the condition and forecasting the service life of reinforced concrete structures] / A. G. Tamrazyan // Zhel-ezobetonnye konstruksii [Reinforced concrete structures]. – 2023. – Vol. 1, No. 1. – Pp. 5–18. – URL: <https://www.g-b-k.ru/jour/article/view/4>.
- Faultlessness of composite enclosing structures with thin-sheet linings and effective thermal insulation Reliability of Buildings and Constructions / V. Bobryashov, M. Bobryashov, A. Bobryashova, N. Bushuev // XXII International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2019), May 29, 2019. – Vol. 97. – Art. 04068. – URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704068>.
- Pinus, B. Statistical features of concrete destruction at background intensity of seismic impacts / B. Pinus, A. Kustov, S. Sergeev. – DOI 10.1051/mateconf/201821201020 // MATEC Web of Conferences : International Scientific Conference “Investment, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities” (ICRE 2018), October 15, 2018. – 2018. – Vol. 212. – Art. 01020.
- Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij [Technical Regulations on the safety of buildings and structures] : Federal'nyj zakon RF ot 30 dekabrya 2009 g. № 384-FZ [Federal Law of the Russian Federation No. 384-FZ of December 30, 2009] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 23 dekabrya 2009 goda : odobren Sovetom Federatsii RF 25 dekabrya 2009 goda [adopted by the State Duma on December 23, 2009 : approved by the Federation Council of the Russian Federation on December 25, 2009] // Spravochnaya pravovaya sistema Konsul'tantPlyus [ConsultantPlus Legal Reference System] : [online resource]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720.
- GOST 27751-2014. Nadozhnost' stroitel'nykh konstruksii i osnovanij. Osnovnye polozheniya (s Izmeneniem № 1) : Mezghosudarstvennyj standart [GOST 27751-2014. Reliability of building structures and foundations. Main provisions (with Amendment No. 1) : Interstate Standard] : prinyat protokolom Mezghosudarstvennogo soveta po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii 14 noyabrya 2014 . № 72-P : vvedyon v deystvie 01.07.2015 [adopted by the Protocol of the Interstate Council

- for Standardization, Metrology and Certification on November 14, 2014. No. 72-P : effective 07/01/2015] : Izmenenie № 1 utverzhdeno i vvedeno v deystvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii ot 23.12.2022 № 1571-st s 01.02.2023 [Amendment No. 1 was approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 12/23/2022 No. 1571-st from 02/01/2023] / Federal'noe agentstvo po tekhnicheskemu regulirovaniyu i metrologii [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology]. – Moscow : Standartinform, 2019. – 27 p. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=188877>.
- Fedchikov, V. A. Vybor kriteriev dlya otsenki naibolee perspektivnykh proektov rekonstruksii i tekhnicheskogo perevooruzheniya TEHS [Selection of criteria for evaluating the most promising projects for the reconstruction and technical re-equipment of thermal power plants] / V. A. Fedchikov, A. A. Morozenko // Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya – 2023 : sbornik dokladov IV Natsional'noj nauchnoj konferentsii, 15 dekabrya 2023 goda, Moskva [Actual problems of the construction industry and education – 2023 : collection of reports of the IV National Scientific Conference, December 15, 2023, Moscow]. – Moscow : MISI–MGSU Publishing House, 2024. – Pp. 912–918.
 - Gaak, V. K. Puti rekonstruksii oborudovaniya promyshlennoj TEHTS pri perevode na szhiganie drugih vidov topliva: na primere Omskoj TEHTS-5 [Ways to reconstruct the equipment of an industrial CHPP when switching to burning other types of fuels: on the example of Omsk CHPP-5] : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.14.04 [dis. ... candidate of Technical Sciences : 05.14.04] / Gaak Viktor Klimentievich. – Omsk, 1999. – 160 p.
 - Vvody i vyvody oborudovaniya [Inputs and outputs of equipment] / Ministerstvo ehnergetiki RF [Ministry of Energy of the Russian Federation] : [official website]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/power-industry/inputs-and-outputs-equipment>.
 - Belov, V. V. Povyshenie bezopasnosti promyshlennykh zdaniy na osnove al'ternativnykh komponovochnykh reshenij (na primere glavnykh korpusov TEHS) [Improving the safety of industrial buildings based on alternative layout solutions (using the example of the main buildings of thermal power plants)] : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.26.02 [dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.26.02] / Belov Vyacheslav Vasilyevich ; MGSU. – Moscow, 2018. – 214 p.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_13

Применение технологий информационного моделирования при проведении обследования зданий и сооружений

Application of Information Modeling Technologies in the Survey of Buildings and Structures

Экба Сергей Игоревич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, sergeyekba@yandex.ru

Ekba Sergey Igorevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, sergeyekba@yandex.ru

Лаврентьев Иван Андреевич

Студент магистратуры кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, ivan.lavrentev01@mail.ru

Lavrentyev Ivan Andreevich

Master's degree student of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, ivan.lavrentev01@mail.ru

Аннотация. Технологии информационного моделирования (ТИМ) активно внедряются и применяются на разных стадиях жизненного цикла объектов капитального строительства, в том числе и в процесс обследования зданий. В данной статье рассмотрен вопрос о выявлении основных факторов, влияющих на внедрение данной технологии в процесс обследования сооружений в Российской Федерации, что позволит значительно улучшить процесс обследования технического состояния здания, сократит количество ошибок и неточностей, а также снизит затраты на данный вид работы.

В качестве метода исследования рассматриваемых организационно-технологических решений с применением ТИМ применён метод экспертной оценки с участием специалистов как из государственных компаний, так и из коммерческих, которые имеют соответствующий опыт и членство в саморегулируемых

Abstract. Building information modeling (BIM) is actively being implemented and applied at various stages of the life cycle of capital construction facilities, including during the survey of buildings. This article examines the issue of identifying the main factors influencing the introduction of this technology in the process of building inspection in the Russian Federation, which will significantly improve the building survey process, reduce the number of errors and inaccuracies, and reduce the cost of this type of work.

As a method of research of the considered organizational and technological solutions with the use of BIM the method of expert evaluation was applied with the participation of specialists from both state enterprises and commercial companies, which have relevant experience and membership in self-regulating organiza-

Введение
Технологии информационного моделирования (ТИМ) играют всё более важную роль в обследовании зданий и сооружений. ТИМ представляет собой инновационный подход к созданию, управлению и обмену информацией о проекте, который позволяет интегрировать данные о физических и функциональных характеристиках объекта в единую цифровую модель. Такой подход позволяет улучшить качество и эффективность обследования технического состояния объекта, а также упростить процесс принятия решений. Благодаря современным технологиям и программам можно собирать, хранить и обрабатывать большие объёмы параметрических данных об объекте, таких как информация о геометрии конструкций и инженерных систем, материалах, системах, оборудовании и других характеристиках. Цифровизация данных позволяет упростить доступ к информации и улучшить её качество, что способствует более точному и полному анализу объекта [1–3].

Актуальность исследования обусловлена тем, что в период дефицита рабочей силы организации всё чаще внедряют и используют технологии информационного моделирования, но при этом максимальные возможности программных продуктов остаются неиспользованными, что приводит к нерациональному пользованию ТИМ, дублированию работ и завышению их стоимости [4].

Материалы и методы
В рамках данного исследования для оценки предложенных организационно-технологических решений (ОТР) с использованием технологий информационного моделирования был применён метод экспертной оценки. На начальном этапе реализации метода были выделены ключевые факторы, которые наиболее существенно влияют на повышение эффективности обследования зданий при использовании ТИМ. Это стало возможным благодаря

организациях.
По результатам проведённого исследования был выявлен ряд факторов, которые главным образом влияют на процесс проведения обследования, приведены организационно-технологические решения по основным критериям, которые обеспечивают эффективность и технологичность данного процесса благодаря использованию современного программного и аппаратного обеспечения организаций. Ключевым значением внедрения технологии информационного моделирования станет усовершенствование процесса обследования, уменьшение ошибок и неточностей, ускорение работы и снижение стоимости по обследованию зданий и сооружений.
Ключевые слова: технологии информационного моделирования (ТИМ), визуализация, цифровизация данных, обследование зданий и сооружений, строительные конструкции.

tions.
According to the results of the conducted research, a number of factors influencing the process of surveying have been identified, organizational and technological solutions are given according to the main criteria ensuring the efficiency and producibility of this process through the use of modern software and hardware organizations. The main value of the introduction of information modeling technology will be the improvement of the surveying process, reduction of errors and inaccuracies, acceleration of work and cost reduction in the surveying of buildings and structures.
Keywords: information modeling technologies, visualization, digitalization of data, survey of buildings and structures, building structures.

изучению и анализу различных аспектов, деталей и факторов, связанных с выполнением подобных работ, а также обработке статистических данных, полученных авторами в ходе выполнения аналогичных проектов. В результате проведённого сопоставительного анализа было определено 10 ключевых факторов [5–10]:
1. Точность данных.
2. Интеграция данных.
3. Улучшение визуализации.
4. Снижение времени на обследование.
5. Автоматизация процессов.
6. Использование облачных технологий.
7. Возможность контроля и мониторинга.
8. Использование мобильных технологий.
9. Анализ жизненного цикла.
10. Эффективное планирование ресурсов.

Следующим шагом стал подбор экспертов. Отбор экспертов проходил по следующим критериям: уровень и профиль образования, опыт работы с ТИМ, наличие научных публикаций из перечня ВАК по теме исследования, практический опыт реализованных проектов.

В рамках первого этапа анализа данных проводилась качественных оценка рассматриваемых факторов, на втором этапе – количественная оценка. Для числовых данных использовался статистический метод ранжирования вариантов. Качественные данные обрабатывались через кластеризацию мнений. Результаты заносились в сводные таблицы, что позволило выявить консенсус или противоречия среди экспертов, при валидации результатов использовались перекрёстное сравнение мнений экспертов, сопоставление с объективными данными, а также устранение погрешностей.

Результаты
В ходе опроса экспертами из ООО «ГЛ Проект» и ГАУ «МосжилНИИпроект» были определены ключевые

№ пп.	Факторы, влияющие на применение ТИМ	Шифр фактора
1	Отсутствие прямого доступа к объекту обследования	Ф1
2	Сложные геометрические формы архитектурных элементов фасада	Ф2
3	Сжатые сроки определения технического состояния здания	Ф3
4	«Густое» расположение надземных инженерных коммуникаций	Ф4
5	Удалённая работа специалистов разного профиля	Ф5
6	Анализ схемы работ конструкции после выполнения капитального ремонта, реконструкции или невыполнения работ по сохранению	Ф6
7	Обширные территории промышленных комплектов, подлежащих реконструкции	Ф7
8	Мониторинг технического состояния высотных и уникальных зданий	Ф8
9	Анализ состояния инженерных коммуникаций с учётом существующего износа	Ф9
10	Обработка, хранение и перераспределение большого массива информации	Ф10

Табл. 1. Факторы, влияющие на применение ТИМ при обследовании зданий и сооружений
Tab. 1. Factors influencing the use of TIM in the inspection of buildings and structures

№ пп.	Шифр фактора	Организационно-технологические решения
1	Ф1	Применение лазерного сканирования, получение реальных размеров объекта, определение объёмов видимых повреждений.
2	Ф2	Применение фотограмметрии, то есть создание 3D-модели на основе серии фотографий, позволяющее более точно получить разнообразие форм и неровностей элементов фасада.
3	Ф3	Применение мобильных приложений и ПО, используются специализированные программы для фиксации данных на месте (например, планшеты с приложениями), с помощью которых можно в короткие сроки получить площади повреждений и разрушений без использования измерительных инструментов.
4	Ф4	Применение георадаров, определение точного расположения надземных коммуникаций без физического вмешательства, получение обширных и точных данных об инженерных коммуникациях, диаметров трубопроводов и фиксация их положения в пространстве.
5	Ф5	Применение облачных сервисов хранения и работы с данными.
6	Ф6	Создание математических моделей с помощью специализированных программных комплексов, помогающих визуализировать работу конструкции в различных вариациях, с учётом её усиления или без него.
7	Ф7	Использование аэрофотограмметрии – съёмки, сделанной с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), для создания высокоточных трёхмерных моделей объектов с целью анализа их состояния, а также для расчёта объёмов работ.
8	Ф8	Применение датчиков для измерения деформаций и перемещений конструкций. Сбор и анализ получаемой информации в реальном времени. Системы контроля за состоянием: использование датчиков для мониторинга температуры, влажности, вибраций и других параметров, влияющих на состояние здания.
9	Ф9	Создание математических моделей с помощью прикладного ПО для прогнозирования состояния инженерных коммуникаций на основе собранных данных и анализа износа с учётом выявленных дефектов.
10	Ф10	Использование NoSQL базы данных для хранения различной информации по объекту или нескольким объектам сразу.

Табл. 2. Организационно-технологические решения при различных факторах при проведении обследования
Tab. 2. Organizational and technological solutions for various factors during the survey

факторы, влияющие на качество обследования задний и сооружений с использованием ТИМ (таблица 1).

Сведём в таблицу факторы, влияющие на применение технологий информационного моделирования и организационно-технологические решения, применяемые в условиях данных факторов для решения поставленных

задач по обследованию технического состояния зданий и сооружений с применением ТИМ.

По результатам анализа и оценки, приведённых в таблицах 1 и 2, можно сказать следующее: для успешного внедрения и применения данной технологии, которая позволит создавать детализированные информационные



Рис. 1. Пример выполнения 3Д-сканирования
Fig. 1. An example of performing a 3D scan

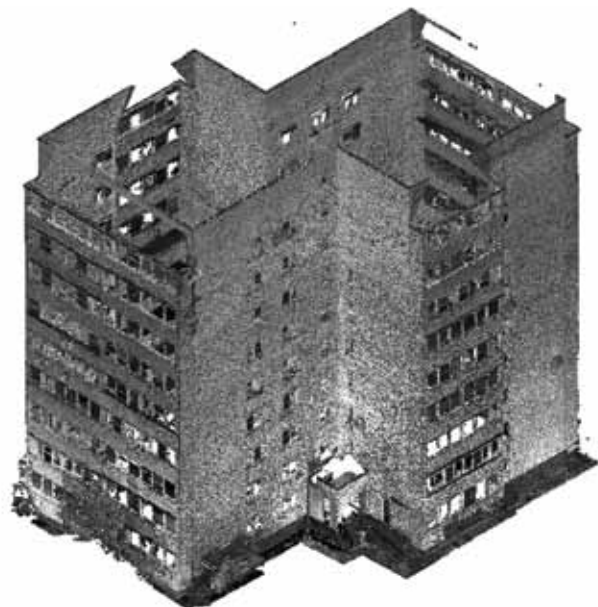


Рис. 2. Пример выполнения лазерного сканирования фасада
Fig. 2. Example of laser scanning of a facade

модели (рисунок 1) зданий, что обеспечит возможность точно зафиксировать их текущее состояние, а соответственно, определить техническое состояние здания, необходимы организационно-технологические решения, позволяющие эффективно использовать ТИМ.

Таким образом, для создания трёхмерной модели конструкций зданий и сооружений необходимы исходные данные. Это могут быть чертежи, планы, схемы, фотографии или другая информация, которая позволит получить представление о конструктивных особенностях исследуемого здания [11].

Одним из важных аспектов при создании модели является точность и достоверность данных: чем более точные и полные данные используются при моделировании, тем более реалистичная и достоверная будет трёхмерная модель [12–13]. Для лучшего понимания состояния объекта в целом и его окружения проводят лазерное сканирование, например, фасад жилого дома на рисунке 2.

Объектами применения лазерного сканирования, следующей обработки облака точек и создания цифровой информационной модели являются десятки зданий и сооружений, на которых авторами проведена апробация эффективности предлагаемых подходов, в их числе:

- реконструкция цеха пастеризации компании «Данон» (рисунок 1);
- проведение капитального ремонта фасада жилого дома по адресу: Москва, Планерная улица, дом 3, корп. 4 (рисунок 2);
- комплексный капитальный ремонт дошкольного учреждения в г. Жуковский, по улице Чапаева, дом 1а;
- проведение капитального ремонта фасада жилого дома по адресу: Москва, улица Донецкая, дом 2;
- проведение капитального ремонта фасада жилого дома по адресу: Москва, шоссе Энтузиастов, дом 53.

К ключевым аспектам данного процесса можно отнести несколько направлений:

- Выбор и внедрение оборудования: подбор оборудования в зависимости от специфики исследуемого объекта – статические или мобильные лазерные сканеры [13].

- Обеспечение технического обслуживания: разработка графика регулярного обслуживания или калибровка оборудования для поддержания его работоспособности.
- Разработка плана сканирования: создание детального плана, который включает в себя точки сканирования, порядок работы и время работы сканера.
- Стандарт сбора данных: установление стандартов для сбора данных, включая требования к точности и детализации различных объектов.
- Программное обеспечение для обработки: внедрение специализированного ПО для обработки данных лазерного сканирования.

Данные организационно-технологические решения призваны оптимизировать процесс лазерного сканирования, повысить его эффективность и обеспечить высокую точность получаемых данных, что, в свою очередь, будет способствовать более качественному обследованию зданий и сооружений [12].

Информационная модель даёт возможность разработать план капитального ремонта или реконструкции объекта. Используя цифровой проект производства работ (ППР), можно определить необходимые ресурсы, материалы и оборудование для проекта любой сложности. Данный фактор позволяет оптимизировать процесс выполнения работ, минимизировать время и затраты, а также улучшить качество и результаты работы. Помимо этого, с помощью ТИМ можно создать несколько альтернативных вариантов проекта (вариантное проектирование) и сравнить их по различным критериям, таким как стоимость реализации, варианты совмещения процессов, сроки выполнения работ, энергоэффективность и соответствие требованиям нормативных документов и заказчика. Это позволяет выбрать наиболее оптимальный вариант капитального ремонта или реконструкции здания, учитывая все пространственные ограничения и требования [5–6].

Обсуждение

В целом, применение ТИМ в процессе обследования зданий и сооружений позволяет учесть особенности конструкции, включая изменение геометрии, материалы и условия эксплуатации здания, что позволяет провести более точный анализ процессов разрушения, образование деформаций, перемещений и других повреждений по сравнению с традиционными подходами к обследованию и проведению обмерных работ.

Однако применение технологий информационного моделирования при проведении технического обследования зданий и сооружений также имеет и свои ограничения. Во-первых, для использования цифровых технологий необходимо обладать специальными знаниями и навыками, что потребует дополнительных затрат на обучение и подготовку специалистов. Во-вторых, необходимо иметь доступ к соответствующему программному обеспечению и оборудованию, это также может быть затратным и требовать дополнительных инвестиций.

Заключение

По результатам проведённого исследования выявлены факторы, наиболее влияющие на процесс создания и управления информацией о здании или сооружении на основе цифровой модели. Они позволяют интегрировать данные о геометрии, материалах, компонентах и свойствах конструкции, а также о её поведении в различных

условиях, что значительно улучшает эффективность, точность и безопасность процесса обследования, а также упрощает сбор и анализ параметров объекта.

Интеграции использования специализированного программного обеспечения для ТИМ в России позволяют заменить аналоги данных систем, не теряя качества и уровня информационной насыщенности в технических

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ожгибесова, К. Е. Технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительстве РФ: особенности применения на различных стадиях жизненного цикла объекта / К. Е. Ожгибесова, Р. Р. Мингареева, С. Р. Сондueva // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2021. – № 11-1. – С. 157–159.
2. Потапова Т. В. Применение технологий информационного моделирования при обследовании и мониторинге деревянных конструкций объектов культурного наследия / Т. В. Потапова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3 (99).
3. Мищенко, А. В. Информационное моделирование жизненного цикла объекта капитального строительства : автореферат дис. ... канд. тех. наук : 2.1.7 / Мищенко Андрей Валерьевич ; ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». – Ростов-на-Дону, 2023. – 24 с.
4. Шогенов, М. С. Моделирование организационно-технологических процессов на стадии оперативного управления объектом строительства с использованием адаптивных интеллектуальных систем : автореферат дис. ... канд. тех. наук : 2.1.7. / Шогенов Мурат Султанович ; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону, 2021. – 23 с.
5. Берник, Н. А. Применение ТИМ-моделирования при проведении инженерно-технического обследования зданий и сооружений / Н. А. Берник, Т. В. Жданова, А. В. Горюнова. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-4-289-290 // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 289–291.
6. Подшивалов, И. И. Моделирование напряжённо-деформированного состояния металлического каркаса производственной площадки при динамическом воздействии / И. И. Подшивалов, С. В. Юшубе, А. А. Тарасов. – DOI 10.31675/1607-1859-2025-27-1-132-141 // Вестник ТГАСУ. – 2025. – Т. 27, № 1. – С. 132–141.

REFERENCES

1. Ozhgibesova, K. E. Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya (TIM) v stroitel'stve RF: osobennosti primeneniya na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla ob'ekta [Information modeling technologies in the construction of the Russian Federation: Application features at various stages of the object's life cycle] / K. E. Ozhgibesova, R. R. Mingareeva, S. R. Sondueva // Gumanitarnye, sotsial'no-ehkonomicheskie i obshchestvennye nauki [Humanities, socio-economic and social Sciences]. – 2021. – No. 11-1. – Pp. 157–159.
2. Potapova T. V. Primenenie tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya pri obsledovanii i monitoringe derevyannykh konstruksij ob'ektov kul'turnogo naslediya [Application of information modeling technologies in the study and monitoring of wooden structures of cultural heritage objects] / T. V. Potapova // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2023. – No. 3 (99).
3. Mishchenko, A. V. Informatsionnoe modelirovanie zhiznennogo tsikla ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva [Information modeling of the life cycle of an object of capital construction] : avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk : 2.1.7 [abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences : 2.1.7] / Mishchenko Andrey Valerievich ; FGBOU VO «Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» [Don State Technical University]. – Rostov-on-Don, 2023. – 24 p.

заклЮчениях по обследованию зданий и сооружений при оценке их технического состояния для нужд реконструкции и капитального ремонта.

7. Fotsing, C. Point cloud processing: 3D indoor scans of buildings as essential tools in engineering, design, and construction : Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Cedrique Fotsing. – DOI 10.26127/BTUOpen-6894. – 2024.
8. Perez-Perez, Y. Segmentation of point clouds via joint semantic and geometric features for 3D modeling of the built environment / Y. Perez-Perez, M. Golparvar-Fard, K. El-Rayes. – DOI 10.1016/j.autcon.2021.103584 // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 125. – Art. 103584.
9. Лапидус, А. А. Методика классификации объектов строительства с критическими дефектами / А. А. Лапидус, С. И. Экба // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 10 (106).
10. Методика типизации многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту общего имущества / А. А. Лапидус, С. И. Экба, Е. Б. Трегубова, С. А. Кормухин // Известия вузов. Строительство. – 2023. – № 2. – С. 56–64.
11. Гинзбург, А. В. Технологии информационного моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства / А. В. Гинзбург // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования : сборник докладов Первой Национальной конференции, Москва, 30 сентября 2020 года. – Москва : МГСУ, 2020. – С. 936–939.
12. Аширов, Э. Н. 3D-сканирование при обследовании технического состояния зданий / Э. Н. Аширов, К. Г. Пугин // Вестник науки. – 2025. – Т. 1, № 2 (83). – С. 697–703. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/3d-skanirovanie-pri-obsledovanii-tehnicheskogo-sostoyaniya-zdaniy> (дата обращения: 22.02.2025).
13. Наурзбаев, Т. Б. Использование технологии LIDAR для построения 3d-модели здания / Т. Б. Наурзбаев, М. Ш. Ишанкулов // Вестник науки. – 2024. – Т. 1, № 5 (74). – С. 613–616. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologii-lidar-dlya-postroeniya-3d-modeli-zdaniya> (дата обращения: 22.02.2025).
4. Shogenov, M. S. Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh protsessov na stadii operativnogo upravleniya ob'ektom stroitel'stva s ispol'zovaniem adaptivnykh intellektual'nykh sistem [Modeling of organizational and technological processes at the stage of operational management of a construction facility using adaptive intelligent systems] : avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk : 2.1.7 [abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences : 2.1.7] / Murat Sul'tanovich Shogenov ; Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet [Don State Technical University]. – Rostov-on-Don, 2021. – 23 p.
5. Bernik, N. A. Primenenie TIM-modelirovaniya pri provedenii inzhenerno-tekhnicheskogo obsledovaniya zdaniy i sooruzhenij [Application of Tim modeling in engineering and technical research of buildings and structures] / N. A. Bernik, T. V. Zhdanova, A. V. Goryunova. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-4-289-290 // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki [News of TulSU. Technical sciences]. – 2024. – No. 4. – Pp. 289–291.
6. Podshivalov, I. I. Modelirovanie napryazhyonno-deformirovanogo sostoyaniya metallichesкого karkasa proizvodstvennoj ploshchadki pri dinamicheskom vozdejstvii [Modeling of the stress-strain state of the metal frame of a production site under dynamic influence] / I. I. Podshivalov, S. V. Oube, A. A. Tarasov. – DOI 10.31675/1607-1859-2025-27-1-132-141 // Vestnik TGASU [Bulletin of TSASU]. – 2025. – Vol. 27, No. 1. –

- Pp. 132–141.
7. Fotsing, C. Point cloud processing: 3D indoor scans of buildings as essential tools in engineering, design, and construction : Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Cedrique Fotsing. – DOI 10.26127/BTUOpen-6894. – 2024.
8. Perez-Perez, Y. Segmentation of point clouds via joint semantic and geometric features for 3D modeling of the built environment” / Y. Perez-Perez, M. Golparvar-Fard, K. El-Rayes. – DOI 10.1016/j.autcon.2021.103584 // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 125. – Art. 103584.
9. Lapidus, A. A. Metodika klassifikatsii ob"ektov stroitel'stva s kriticheskimi defektami [Methodology of classification of construction objects with critical defects] / A. A. Lapidus, S. I. Ekba // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2023. – No. 10 (106).
10. Metodika tipizatsii mnogokvartirnykh domov, podlezhashhikh kapital'nomu remontu obshhego imushchestva [Method of typification of apartment buildings subject to major repairs of common property] / A. A. Lapidus, S. I. Ekba, S. B. Tregubova // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [Izvestiya vuzov. Construction]. – 2023. – No. 2. – Pp. 56–64.
11. Ginzburg, A. V. Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya zhiznennogo tsikla ob"ekta kapital'nogo stroitel'stva [Technologies of information modeling of the life cycle of a capital construction facility] / A. V. Ginzburg // Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya : sbornik dokladov Pervoj Natsional'noj konferentsii, Moskva, 30 sentyabrya 2020 goda [Actual problems of the construction industry and education : collection of reports of the first National Conference, Moscow, September 30, 2020]. – Moscow : MGSU, 2020. – Pp. 936–939.
12. Ashirov, E. N. 3D-skanirovanie pri obsledovanii tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy [3D scanning in the study of the technical condition of buildings] / E. N. Ashirov, K. G. Pugin // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2025. – Vol. 1, No. 2 (83). – Pp. 697–703. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/3d-skanirovanie-pri-obsledovanii-tehnicheskogo-sostoyaniya-zdaniy> (date of request: 02/22/2025).
13. Naurazbaev, T. B. Ispol'zovanie tekhnologii LIDAR dlya postroyeniya 3d-modeli zdaniya [Using LIDAR technology to build a 3D model of a building] / T. B. Naurazbaev, M. Sh. Ishankulov // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2024. – Vol. 1, No. 5 (74). – Pp. 613–616. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologii-lidar-dlya-postroyeniya-3d-modeli-zdaniya> (date of request: 02/22/2025).

УДК 658.513.1

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_18

Цифровые двойники как инструмент повышения технико-экономических показателей строительного производства

Digital Twins as a Tool to Improve Technical and Economic Performance of Construction Production

Абрамов Иван Львович

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, ivan2193@yandex.ru

Abramov Ivan Lvovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, ivan2193@yandex.ru

Красновский Борис Михайлович

Доктор технических наук, профессор, научный консультант ООО «Научно-исследовательский институт проектирования, технологии и экспертизы в строительстве», Россия, 119180, Москва, улица Большая Полянка, 51А/9, bmk-001@yandex.ru

Krasnovsky Boris Mikhailovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Consultant, Scientific Research Institute of Design, Technology and Expertise in Construction, Russia, 119180, Moscow, ulitsa Bolshaya Polyanka, 51A/9, bmk-001@yandex.ru

Носков Валентин Алексеевич

Магистр, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, noskovval@rambler.ru

Noskov Valentin Alekseevich

Master, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, noskovval@rambler.ru

Костерин Владислав Алексеевич

Бакалавр, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ), Россия, 195251, Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое, улица Политехническая, 29, литера Б, vladislavkosterin03@gmail.com

Kosterin Vladislav Alekseevich

Bachelor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbRU), Russia, 195251, St. Petersburg, Akademicheskoe municipal district, ulitsa Polytekhnicheskaya, 29 B, vladislavkosterin03@gmail.com

Аннотация. Настоящая статья посвящена анализу роли технологии цифровых двойников (Digital Twin) в оптимизации процессов управления строительными проектами на этапе их реализации. Проводится анализ интеграции цифровых

двойников с технологиями информационного моделирования зданий (BIM) и интернета вещей (IoT), с акцентом на возможности динамической синхронизации виртуальной модели с физическим объектом в режиме реального времени. На примере

реализованных проектов демонстрируются практические преимущества применения данной технологии, включая сокращение простоев оборудования, оптимизацию затрат и повышение точности контроля за счёт автоматизированного мониторинга ключевых параметров, таких как температура, нагрузка на конструкции и логистические процессы.

В рамках исследования рассмотрены функциональные возможности 4D- и 5D-моделирования, а также методы предиктивного анализа, направленные на прогнозирование потенциальных рисков. Выявлены ключевые ограничения, связанные с использованием технологии цифровых двойников, включая высокую стоимость внедрения и недостаточную развитость

Abstract. This article analyses the role of Digital Twin technology in the optimization of construction project management processes during implementation. It examines the integration of Digital Twin with Building Information Modelling (BIM) and Internet of Things (IoT) technologies, focusing on the possibility of dynamic synchronization of the virtual model with the physical object in real time. The case studies demonstrate the practical benefits of using this technology, including reduced equipment downtime, cost optimization and improved control accuracy through automated monitoring of key parameters such as temperature, structural loads and logistical processes.

The study considers the functionality of 4D and 5D modeling, as well as predictive analysis techniques aimed at predicting

Введение

Цифровой двойник – это технология, основанная на создании виртуальных копий физических объектов и процессов, которая изначально разрабатывалась для применения в промышленном производстве. Однако в течение последнего десятилетия её активно интегрировали и в архитектурно-строительную отрасль (АЕС – Architecture, Engineering, Construction), сделав неотъемлемым инструментом реализации масштабных проектов [1; 2; 3]. Ключевыми драйверами этих изменений выступает развитие методов информационного моделирования зданий (BIM – Building Information Modeling) и распространение технологий интернета вещей (IoT – Internet of Things) [1; 4; 5].

Цифровой двойник в строительстве представляет собой динамическую модель проекта, объединяющую трёхмерную модель объекта с метаданными, актуализируемыми на каждом этапе жизненного цикла. Внедрение данной технологии на стадии строительства позволяет обеспечить следующие преимущества [5]:

- обеспечение детализации планировочных решений посредством визуализации этапов и их взаимосвязей;
- минимизация погрешностей строительных операций за счёт синхронизации проектных данных с исполнительной документацией;
- реализация непрерывного мониторинга в режиме реального времени позволяет отслеживать текущие процессы;
- автоматизация рутинных задач способствует повышению операционной эффективности;
- за счёт предиктивного анализа отклонений достигается снижение проектных рисков;
- интеграция данных с IoT-устройств оптимизирует логистические процессы [6].

Ключевой особенностью технологии выступает осуществление предиктивной аналитики, которая позволяет моделировать сценарии развития событий, включая

нормативно-правовой базы.

Результаты исследования подтверждают, что применение цифровых двойников способствует переходу от реактивного к проактивному управлению, что повышает операционную эффективность и снижает уровень рисков. В заключение предложены рекомендации для отрасли: развитие открытых платформ данных, внедрение стандартов и обучение кадров, что позволит масштабировать технологию и укрепить конкурентоспособность строительной индустрии.

Ключевые слова: цифровой двойник, предиктивная аналитика, строительное производство, BIM, IoT, интернет вещей, оптимизация процессов, мониторинг параметров.

potential risks. Key limitations associated with the use of digital twin technology are identified, including high implementation costs and underdeveloped regulatory frameworks.

The study's findings indicate that the implementation of digital twins enables a transition from a reactive to a proactive management approach, enhancing operational efficiency and mitigating risk. It concludes with recommendations for the industry: developing open data platforms, implementing standards, and educating the workforce to scale technology and strengthen the competitiveness of the construction industry.

Keywords: digital twin, predictive analytics, construction production, BIM, IoT, internet of things, process optimization, parameter monitoring.

оценку влияния внешних факторов (например, задержек поставок) на критический путь проекта [7].

Материалы и методы

Методология создания динамических интерактивных моделей строительства с применением цифровых двойников

1. Разработка 3D-модели. Первый этап предполагает создание 3D-модели объекта с необходимым уровнем детализации (Level of Development – LOD), включающим как геометрические, так и технические параметры.

2. Интеграция временных и стоимостных параметров. На втором этапе к 3D-модели добавляются дополнительные измерения: время и стоимость. Это позволяет учитывать временные рамки и бюджетные ограничения в процессе реализации проекта.

3. Подключение IoT-устройств. На заключительном этапе осуществляется настройка и синхронизация данных через IoT-устройства, которые обеспечивают непрерывный обмен информацией между физическим объектом и его цифровой копией [8].

В соответствии с требованиями СП 333.1325800.2017 «Организация строительства. Информационное моделирование», на этапе строительства предусмотрены два уровня детализации:

- LOD 400 (Level of Development 400) – детализация, достаточная для разработки проекта производства работ (ППР);
- LOD 500 (Level of Development 500) – формирование исполнительной модели (ИД), отражающей итоговые параметры объекта.

Модели, соответствующие данным уровням, могут реализовываться в форматах 4D и 5D в соответствии с техническими требованиями заказчика [9].

4D-модель предполагает интеграцию временного параметра в трёхмерную геометрическую модель объекта, что обеспечивает динамическую визуализацию после-

	4D-модель	5D-модель
Основное измерение	Время (график работ)	Стоимость (бюджет)
Цель	Планирование и управление временем	Управление бюджетом
Используемые данные	График работ	Смета, цены на материалы, трудозатраты
Инструменты	Primavera P6, Microsoft Project, Renga, Платформа «Стройплощадка», 1С: ERP	CostX, Solibri Cost Estimation, Pirron Systems, 1С: Строительство, Гектор: 5D-смета
Пример применения	Перераспределение трудовых ресурсов при возникновении логистических задержек	Расчёт стоимости изменений в проекте

Табл. 1. Сравнение характеристик рассматриваемых моделей
Tab. 1. Comparison of the characteristics of the models under consideration

довательности строительных процессов и их логическую взаимосвязь. Использование такой модели способствует минимизации ошибок календарного планирования за счёт оптимизации распределения трудовых ресурсов.

5D-модель дополняет 4D-модель за счёт включения стоимостного параметра, обеспечивая комплексный анализ взаимосвязей объёмов работ, материально-технических ресурсов и трудовых затрат с финансовыми показателями. Такая интеграция позволяет осуществлять многофакторный контроль бюджетных расходов на рассматриваемом этапе строительства [10].

В таблице 1 представлено сравнение ключевых характеристик рассматриваемых моделей.

Методологическая основа формирования динамической модели строительного производства заключается в интеграции IoT-сенсоров, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), систем компьютерного зрения, ERP- и CMMS-систем, внедряемых на ранних этапах проекта. Данные системы фиксируют ключевые параметры, включая температурно-влажностный режим, эксплуатационные показатели оборудования и производительность трудовых ресурсов, формируя цифровое отражение текущих процессов [11].

Анализ данных, осуществляемый с применением алгоритмов машинного обучения и предиктивной аналитики, направлен на оптимизацию ресурсного распределения, снижение издержек и повышение эффективности управленческих решений.

Максимальная эффективность достигается при синергии цифровых двойников с технологиями информационного моделирования зданий (BIM). Совмещение цифровых двойников с информационным моделированием зданий способствует повышению уровня контроля над

проектом и решению таких отраслевых проблем, как низкая производительность и высокая частота ошибок.

Одной из ключевых проблем на сегодняшнем этапе развития технологии является недостаток интероперабельности между BIM-платформами и другими источниками данных. В качестве решения разрабатываются многоуровневые архитектуры, обеспечивающие возможность открытых систем без ограничений взаимодействовать между собой или с внешними продуктами.

В качестве примера можно рассмотреть многоуровневую архитектуру BIM-IoT Data Integration (BIM-IoTDI), предоставляющую возможность одинаково интерпретировать информацию и интегрированный доступ с помощью метода онтологического посредничества запросов – метода, использующего общую смысловую модель для автоматического перевода данных между разнородными системами. Это позволяет интегрировать данные IoT и BIM без потери смысла [12].

Другая архитектура, объединяющая BIM, 3D GIS и данные сенсоров [13], состоит из 3 уровней:

- предварительная обработка (устранение шумов, агрегация данных);
- структурирование и хранение;
- интерактивная визуализация и анализ через графический интерфейс.

Такая структура обеспечивает адаптивное управление данными в условиях их неоднородности.

Для использования BIM и BEM (моделирование энергоэффективности зданий) [14] применяются стратегии:

1. Соединение в реальном времени;
2. Стандартизация форматов и корректирующие инструменты;
3. Унификация представлений моделей;

№ пп.	Метод фильтрации	Описание	Преимущества	Недостатки
1	Фильтрация на уровне данных	Удаление ненужных или дублирующих данных на уровне сенсоров или устройств	Снижение объёма передаваемых данных, увеличение скорости	Возможная потеря важной информации
2	Фильтрация на уровне потока	Применение алгоритмов фильтрации к потоковым данным	Обработка данных в реальном времени, низкие задержки	Высокие требования к вычислительным ресурсам
3	Обработка событий	Фильтрация и классификация данных на основе определённых событий	Позволяет фокусироваться на важных событиях	Сложность настройки правил фильтрации
4	Адаптивная фильтрация	Использование машинного обучения для динамической настройки фильтров	Повышение точности фильтрации, учитывая изменения в данных	Требует обучения моделей, что может быть ресурсоёмко
5	Простая статистическая фильтрация	Использование статистических методов для фильтрации данных	Простота реализации, хорошо работает с простыми данными	Может быть недостаточно эффективной для сложных данных
6	Фильтрация по геолокации	Фильтрация данных на основе географических координат	Устранение нерелевантных данных по местоположению	Ограниченный диапазон применения

Табл. 2. Методы фильтрации
Tab. 2. Filtering methods

№ пп.	Наименование	Функции
1	Интеграция данных	Сбор данных с датчиков, IoT-устройств, BIM-моделей, CAD-систем и других источников
		Объединение данных в единую цифровую модель
2	Визуализация	Создание 3D-моделей объектов и процессов
		Реальное время отображения состояния объекта
3	Аналитика и прогнозирование	Использование AI и ML для анализа данных и прогнозирования
		Выявление аномалий и рекомендации по оптимизации
4	Управление жизненным циклом	Отслеживание изменений объекта от проектирования до эксплуатации
		Хранение истории данных для аудита и анализа
5	Синхронизация с физическим объектом	Постоянное обновление цифрового двойника на основе данных с датчиков
		Обратная связь для управления объектом
6	Коллаборация	Совместная работа над проектом с разными участниками
		Управление правами доступа и версиями данных

Табл. 3. Основные функции информационных платформ
Tab. 3. Main functions of information platforms

4. Проприетарные цепочки (интеграция коммерческих решений, таких как ArchiCAD с DesignBuilder и Autodesk BIM 360 с OpenStudio).

Ключевыми технологиями, обеспечивающими возможность работы с цифровыми двойниками, являются: облачные вычисления, периферийные вычисления (Edge Computing), блокчейн и специализированные информационные платформы. Рассмотрим каждую из них более подробно. Облачные вычисления позволяют обрабатывать большие массивы данных и обеспечивают возможность безбарьерного использования информации. Примером служит платформа BIM Synapse, использующая стандартизированные API для интеграции IoT и BIM, что упрощает синхронизацию данных. Периферийные вычисления (Edge Computing) представляют собой принцип, при котором данные обрабатываются на уровне устройств-источников (например, датчиков или камер). Это позволяет сократить объём передаваемых данных за счёт их предварительной фильтрации и агрегации [15]. Далее в таблице 2 разберём преимущества и недостатки методов фильтрации.

Исходя из данных таблицы, можно сделать вывод, что выбор метода фильтрации индивидуален для каждой задачи и должен основываться на балансе между требованиями к скорости обработки, точности и доступностью вычислительных ресурсов.

Блокчейн обеспечивает безопасное, прозрачное и неизменяемое хранение данных, таких как управление документацией, фиксация изменений с указанием временных меток и авторства [16]. Это позволяет снизить вероятность ошибок и конфликтов между участниками проекта.

Информационные платформы, специализирующиеся на работе с цифровыми двойниками (Digital Twin Platforms), – это специализированные программные решения, предназначенные для создания, управления и анализа цифровыми двойниками. Они объединяют данные из различных источников, обеспечивая виртуальное представление физических объектов и процессов [17].

Далее в таблице 3 рассмотрим основные функции таких информационных платформ.

Для успешной реализации технологии цифровых двойников требуется комплексный подход, учитывающий все информационно-технологические аспекты. Особое внимание стоит уделять вопросам интеграции различных систем, обработки данных и обеспечения их качества,

а также развитию необходимой технологической инфраструктуры.

Реализация технологии цифровых двойников в строительной отрасли предполагает активное участие всех ключевых субъектов проекта: инвесторов, застройщиков, службы технического заказчика, проектных организаций и подрядных структур (включая генеральных подрядчиков и субподрядчиков). Использование новых информационно-технологических средств приводит к изменению традиционных ролей участников и требует от них выполнения новых задач.

Для инвестора интеграция цифровых двойников расширяет возможности в части управления проектом. К ключевым функциям относятся:

- мониторинг строительного процесса в режиме реального времени с использованием актуальных данных;
- моделирование сценариев реализации проекта для оценки их влияния на бюджетные и временные параметры;
- ранняя идентификация рисков с последующим внедрением превентивных мер;
- эксплуатационное планирование на основе цифрового двойника для оптимизации затрат на содержание объекта;
- визуализация проектных решений на этапе проектирования, обеспечивающая возможность оперативной корректировки;
- возможность видеть, как будет выглядеть объект ещё до его завершения, что помогает своевременно вносить изменения.

Застройщик получает доступ к инструментам, направленным на координацию участников и оптимизацию рабочих процессов:

- централизованная координация взаимодействий между проектными организациями, подрядчиками и поставщиками, включая оперативную корректировку планов для минимизации простоев;
- прогнозирование потенциальных отклонений от проектных параметров;
- формирование отчётности для заказчика на основе актуальных данных о текущем состоянии объекта.

Наиболее значительные изменения в рамках внедрения цифровых двойников затрагивают работу службы технического заказчика, что обусловлено необходимостью разработки, адаптации и мониторинга плана реали-

Риски, возникающие при внедрении технологии создания цифровых двойников	Последствия рисков, приводящие к снижению эффективности
Низкое качество или несовместимость данных	• Некорректное моделирование из-за устаревших или ошибочных данных
	• Задержки сроков строительства из-за необходимости ручного исправления
Уязвимость данных	• Утечки конфиденциальной информации
Высокие затраты на внедрение и поддержку	• Большие инвестиции в ПО, оборудование и обучение персонала
	• Сложность интеграции с устаревшими системами
Юридические и регуляторные риски	• Отсутствие разграничения ответственности за ошибки в цифровом двойнике
	• Несоответствие локальным строительным нормам и стандартам
Технологическая зависимость и сбои	• Простои из-за поломок оборудования или ошибок в ПО
	• Некорректные прогнозы из-за неучтённых внешних факторов
Сопrotивление персонала и нехватка квалификации	• Ошибки из-за неумения работать с новыми инструментами
	• Снижение мотивации из-за страха автоматизации
Ограничения моделирования	• Появление неучтённых факторов, влияющих на продолжительность строительства

Табл. 4. Распределение рисков и их последствий
Tab. 4. Allocation of risks and their consequences

зации проекта с применением технологий информационного моделирования (в соответствии с требованиями СП 404.1325800.2021 «Информационное моделирование в строительстве»). При этом процедуры контроля приобретают системный характер за счёт автоматизации ключевых процессов:

- сравнительного анализа фактического состояния объекта с проектными данными для выявления отклонений;
- автоматизированной верификации соответствия требованиям нормативной документации;
- прогнозного анализа данных о конструкциях и инженерных системах для предотвращения аварийных ситуаций;
- генерации отчётов на основе информации, интегрированной в цифровой двойник.

Проектировщики реализуют адаптивное моделирование с использованием следующих возможностей:

- тестирование взаимодействия инженерных систем (электроснабжение, вентиляция, водоснабжение) в виртуальной среде;
- симуляция эксплуатационных условий для оценки функциональности объекта;
- автоматизация расчётов (прочность, энергоэффективность) на основе данных цифрового двойника;
- коллаборативная работа на единой платформе, снижающая риски ошибок и конфликтов;
- интеграция данных IoT-датчиков для повышения точности моделирования.

Подрядчики (генподрядчики и субподрядчики) оптимизируют управление строительными процессами через:

- визуализацию технологических последовательностей и рационализацию расходов при распределении имеющихся ресурсов;
- контроль соответствия объекта проектным параметрам для своевременного устранения отклонений;
- фиксацию изменений и формирование отчётности в рамках цифрового двойника.

Цифровые двойники интегрируют данные из множества источников, обеспечивая прозрачность процессов и расширение функциональных возможностей планирования. Единая актуализированная модель проекта позволяет участникам выявлять потенциальные риски на ранних стадиях, минимизируя вероятность возникновения значимых ошибок [18]. Технология цифровых двойников доказала свою эффективность в прогнозировании и смягче-

нии последствий сбоев в цепочке поставок. Это особенно актуально для модульного строительства, где синхронизация логистики и монтажа имеет критическое значение для соблюдения сроков сдачи проекта [19].

Также при задержках поставок материалов модель может автоматически генерировать сценарии их влияния на календарный план и оперативно предотвращать нарушение сроков реализации проекта.

Кроме того, цифровые двойники оптимизируют эксплуатационные расходы за счёт непрерывного мониторинга состояния оборудования и прогнозирования необходимости технического обслуживания. Это позволяет избежать незапланированных простоев, увеличивая ресурсный потенциал машин и механизмов [20].

Распространение технологии цифровых двойников в строительной отрасли свидетельствует об изменении методологии управления рисками в сторону превентивных стратегий. Путём заблаговременной идентификации угроз цифровые двойники становятся ключевым инструментом повышения общей эффективности проектов и снижения уязвимости в цепочках поставок.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, внедрение цифровых двойников сопряжено с макроэкономическими и операционными рисками, способными снизить результативность строительного производства. В традиционной системе взаимодействий участников на этапах проектирования и реализации процессы осуществляются по схеме: человек (проектирование) → человек (реализация). Интеграция цифрового двойника превращает данную цепочку в структуру: человек (проектирование) → цифровой двойник → человек (реализация) → цифровой двойник. Из-за введения дополнительных звеньев появляются следующие риски:

- дефицит квалифицированных специалистов на этапах проектирования и реализации;
- снижение достоверности цифровых моделей;
- отсутствие механизмов обеспечения информационной безопасности;
- правовые пробелы в регулировании взаимодействия с цифровыми двойниками.

Далее в таблице 4 систематизированы риски, возникающие при внедрении технологии цифровых двойников, и их потенциальные последствия для строительных проектов.

Для оценки уровней риска составим матрицу вероятностей и влияния (таблица 5).

Вероятность	Точно случится	1	0,3	0,6	0,8	1
	Высокая вероятность	0,8	0,24	0,48	0,64	0,8
	Средняя вероятность	0,6	0,18	0,36	0,48	0,6
	Низкая вероятность	0,3	0,09	0,18	0,24	0,3
			0,3	0,6	0,8	1
			Незначительное	Минимальное	Среднее	Критическое
			Влияние на проект			

Табл. 5. Матрица вероятностей и влияния
Tab. 5. Probability and impact matrix

Далее применим эту матрицу к рискам, рассмотренным в таблице 6.

№ пп.	Наименование	Вероятность	Влияние	Уровень риска
1	Низкое качество или несовместимость данных	0,6	1	0,6
2	Уязвимость данных	0,3	0,3	0,09
3	Высокие затраты на внедрение и поддержку	0,8	0,8	0,64
4	Юридические и регуляторные риски	0,8	0,6	0,48
5	Технологическая зависимость и сбои	0,6	0,8	0,48
6	Сопrotивление персонала и нехватка квалификации	0,6	0,6	0,36
7	Ограничения моделирования	0,3	0,8	0,24

Табл. 6. Расчёт уровней риска
Tab. 6. Calculation of risk levels

На основании проведённого анализа данных, представленных в таблице 6, можно сделать вывод о том, что ключевыми рисками при внедрении технологии цифровых двойников в строительное производство являются низкое качество данных и значительные финансовые затраты на реализацию и поддержку данной технологии. Поэтому особую важность приобретает проблема кадрового обеспечения. Для успешной интеграции цифровых двойников в строительное производство необходимы тщательный отбор и профессиональная подготовка специалистов как на этапе проектирования, так и на этапе практической реализации проектов.

Технология цифровых двойников демонстрирует наивысшую результативность при реализации крупных строительных проектов, требующих детализированного подхода. К ним относятся:

- строительство сложных инфраструктурных систем (например, метрополитенов, гидротехнических сооружений);
- реставрация памятников архитектуры и объектов культурного наследия [21];
- возведение уникальных сооружений (спортивные комплексы, высотные здания).

Для оценки преимуществ и рисков использования цифровых двойников проанализируем следующие практические примеры.

Шанхайская башня (Китай). В данном проекте цифровой двойник был задействован для моделирования ветровых нагрузок и оптимизации аэродинамической формы сооружения. Результатом стало снижение ветрового воздействия на 24 %, что позволило сократить расход стали на 25 % из-за отсутствия необходимости дополни-

тельного усиления конструкции. Дополнительно симуляция систем вентиляции и отопления способствовала значительному повышению энергоэффективности здания.

Мост Хардангер (Норвегия). Интеграция цифрового двойника с IoT-датчиками обеспечила непрерывный мониторинг деформаций, вибраций и коррозии конструкции. Это позволило минимизировать риски, связанные с перегрузками, и увеличить прогнозируемый срок эксплуатации моста на 15–20 лет.

Международный аэропорт Берлин–Бранденбург имени Вилли Брандта (Германия). Цифровой двойник использовался для координации систем вентиляции и пожарной безопасности. Ошибки в интеграции данных между подрядчиками привели к несоответствию моделей реальным системам, а дефекты были обнаружены уже после начала эксплуатации. Из-за этого возникла значительная задержка: открытие аэропорта состоялось на 9 лет позже (2020 год, вместо 2011), а перерасход бюджета увеличился с €2 млрд до €7 млрд.

Таким образом, можно сделать вывод, что успешность внедрения технологии цифровых двойников напрямую зависит от качества планирования, координации участников проекта и точности интеграции данных. При соблюдении этих условий технология демонстрирует высокую эффективность, однако недостатки в реализации могут привести к серьёзным техническим и финансовым последствиям.

Результаты

Внедрение цифровых двойников, интегрированных с BIM-моделями и IoT-сенсорами, сократило сроки выполнения этапов строительства на 10–15 % за счёт автоматизации планирования и оперативного устранения несоответствий.

Анализ данных цифровых двойников позволяет сократить перерасход материалов на 10–12 % благодаря точному прогнозированию потребностей и минимизации отходов. Использование предиктивной аналитики уменьшило количество инцидентов, связанных с безопасностью, на 30 %.

Однако в 25 % случаев наблюдались задержки из-за несовместимости данных между ПО разных поставщиков, а для обработки данных в реальном времени потребовалось увеличение вычислительных мощностей в среднем на 30 %, что повысило операционные затраты на начальном этапе.

Основным результатом исследования является подтверждение гипотезы о том, что цифровые двойники не только оптимизируют процесс принятия решений, но и формируют основу для предиктивного управления. Это особенно актуально в условиях возрастающей сложности современных строительных объектов и повышения требо-

ваний к экологической безопасности строительных проектов.

Обсуждение

Полученные данные подтверждают, что интеграция цифровых двойников с BIM-моделями, IoT-сенсорами и системами аналитики данных позволяет достичь значительного повышения эффективности управления строительными процессами. Реализация данной технологии обеспечивает непрерывный мониторинг в режиме реального времени, прогнозирование потенциальных рисков и оптимизацию ресурсного планирования, что способствует сокращению сроков реализации проектов и минимизации финансовых затрат.

Несмотря на значительные преимущества, внедрение цифровых двойников в строительной отрасли сопряжено с рядом ограничений. Торможение процессов цифровой трансформации в строительной отрасли обусловлено рядом объективных причин. На техническом уровне необходимость обработки больших объёмов данных в реальном времени требует значительных вычислительных ресурсов и развитой инфраструктуры передачи данных. Дефицит специалистов, способных осуществлять синтез знаний в области строительства и информационных технологий, создаёт препятствия для эффективного внедрения цифровых решений. А отсутствие стандартизации форматов данных между различными программными продуктами ограничивает и снижает общую эффективность цифровизации отрасли.

Однако анализ практических примеров демонстрирует, что, несмотря на высокие первоначальные инве-

стиции, внедрение цифровых двойников обеспечивает окупаемость за счёт сокращения количества ошибок, минимизации простоев и оптимизации логистических операций.

Для дальнейшего развития технологии целесообразно сосредоточиться на следующих аспектах [22]:

- Разработка алгоритмов искусственного интеллекта для автономного анализа данных цифровых двойников и генерации сценариев оптимизации.
- Исследование интеграции с блокчейн-платформами для обеспечения неизменности и прозрачности данных.
- Адаптация решений для малых и средних предприятий, где внедрение цифровых двойников остаётся ограниченным из-за ресурсных и финансовых ограничений.

Заключение

Цифровые двойники становятся ключевым инструментом изменения строительной отрасли, однако их успешное внедрение требует не только технологической готовности, но и изменения управленческих подходов. Критически важными условиями являются развитие междисциплинарного взаимодействия, внедрение программ непрерывного обучения персонала и формирование нормативной базы.

Дальнейшее совершенствование технологии будет способствовать созданию интеллектуальных, ресурсоёмких и экологически устойчивых строительных процессов, соответствующих вызовам современности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Madubuike, O. C. A review of digital twin applications in construction / O. C. Madubuike, C. J. Anumba, R. Khallaf // ITcon – 2022. – No. 27. – Pp. 1–20.

2. Luo, Q. Applications of digital twin technology in construction safety risk management: a literature review / Q. Luo, C. Sun, Y. Li, Z. Qi, G. Zhan // Engineering, Construction and Architectural Management – 2024. – URL: <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2023-1095>.

3. Липидус, А. А. Внедрение цифровых технологий в строительную отрасль / А. А. Липидус, И. Л. Абрамов, А. А. Мартянова // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы – 2019 : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 25 ноября 2019 года. – Москва : МГСУ, 2019. – С. 326–330.

4. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions / H. Omrany, K. M. Al-Obaidi, A. Husain, A. Ghaffarianhoseini. – DOI 10.3390/su151410908 // Sustainability – 2023. – No. 15 (14).

5. Tuhaise, V. V. Technologies for digital twin applications in construction / V. V. Tuhaise, J. H. Mbatu Tah, F. H. Abanda // Automation in Construction – 2023. – Vol. 152. – Art. 104931.

6. Construction with Digital Twin Information Systems / R. Sacks, I. Brilakis, E. Pikas, S. Xie, M. Girolami. – DOI 10.1017/dce.2020.16 // Data-Centric Engineering. – 2020. – Vol. 1 (e14). – No. 26.

7. Boschert, S. Digital Twin – The Simulation Aspect / S. Boschert, R. Rosen. – DOI 10.1016/j.jmsy.2022.06.015 // Mechatronic Futures. – 2016. – Pp. 59–74.

8. Digital twin modeling / F. Tao, B. Xiao, Q. Qi, J. Cheng, P. Ji // Journal of Manufacturing Systems. – 2022. – Vol. 64. – Pp. 372–389.

9. Liew, S.-C. Improving Construction Project Management Via 4D and 5D BIM in Sarawak: An Overview / S.-C. Liew,

V. N.-S. Bong, R. M. Y.-Y. Fong. – DOI 10.1007/978-981-99-5547-3_18 // Lecture Notes in Electrical Engineering : Proceedings of ASEAN-Australian Engineering Congress (AAEC2022). – 2022. – Pp. 235–247.

10. Hasan, A. N. The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry / A. N. Hasan, S. M. Rasheed. – DOI 10.28991/cej-2019-03091255 // Civil Engineering Journal – 2019. – Vol. 5 – No. 2. – P. 412.

11. Digital Twin Framework for Enabling Serial Construction / S. Kosse, O. Vogt, M. Wolf, M. Konig, D. Gerhard. – DOI 10.3389/fbuil.2022.864722 // Frontiers in Built Environmet. – 2022. – Vol. 8. – Art. 864722.

12. Brandín, R. IoT-BIM and blockchain integration for enhanced data traceability in offsite manufacturing / R. Brandín, S. Abrishami. – DOI 10.1016/j.autcon.2024.105266 // Automation in Construction – 2024. – Vol. 159. – Art. 105266.

13. Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site / M. Pepe, D. Costantino, V. S. Alfio, A. G. Restuccia, N. M. Papalino. – DOI 10.1016/j.culher.2021.05.006 // Journal of Cultural Heritage. – 2021. – Vol. 50 – Pp. 115–125.

14. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice / Y. Arayici, S. Coates, L. J. Koskela et al. – DOI 10.1016/j.autcon.2010.09.016 // Automation in Construction. – 2011. – Vol. 20, Iss. 2. – Pp. 189–195.

15. Tran-Dang, H. Digital Twin-empowered intelligent computation offloading for edge computing in the era of 5G and beyond: A state-of-the-art survey / H. Tran-Dang, D.-S. Kim. – DOI 10.1016/j.icte.2025.01.002 // ICT Express. – 2025. – Vol. 11, Iss. 1. – Pp. 167–180.

16. When Blockchain Meets the AEC Industry: Present Status, Benefits, Challenges, and Future Research Opportunities / M. Cheng, G. Liu, Y. Xu, M. Chi. – DOI 10.3390/buildings11080340 // Buildings. – 2021. – Vol. 11, Iss. 8. – Art. 340.

17. Fang, Y. Research on monitoring technology of equipment processing based on digital twin / Y. Fang, J. Liu, R. Lu // Aeronautical Manufacturing Technology. – 2021. – Vol. 64, No. 4. – Pp. 91–96.

18. Grieves, M. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems / M. Grieves, J. Vickers // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. – 2016. – Pp. 85–113.

19. Lee, D. Digital Twin for Supply Chain Coordination in Modular Construction / D. Lee, S. H. Lee. – DOI 10.3390/app11135909 // Applied Scieces. – 2021. – Vol. 11, Iss.13. – Art. 5909.

20. Липидус, А. А. Применение BIM-технологий для контроля и оценки строительных рисков / А. А. Липидус, И. Л. Абрамов, З. А. Аль-Заиди // Системотехника строительства. Киберфи-

REFERENCES

1. Madubuike, O. C. A review of digital twin applications in construction / O. C. Madubuike, C. J. Anumba, R. Khallaf // ITcon – 2022. – No. 27 – Pp. 1–20.

2. Luo, Q. Applications of digital twin technology in construction safety risk management: a literature review / Q. Luo, C. Sun, Y. Li, Z. Qi, G. Zhan // Engineering, Construction and Architectural Management – 2024. – URL: <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2023-1095>.

3. Lapidus, A. A. Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologij v stroitel'nyyu otrasl' [Implementation of Digital Technologies in the Construction Industry] / A. A. Lapidus, I. L. Abramov, A. A. Martyanova // Sistemotekhnika stroitel'stva. Kiberfizicheskie stroitel'nye sistemy – 2019 : Sbornik materialov Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 25 noyabrya 2019 goda [System Engineering in Construction. Cyber-Physical Construction Systems – 2019 : Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference , Moscow, November 25, 2019]. – Moscow : MGSU, 2019. – Pp. 326–330.

4. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions / H. Omrany, K. M. Al-Obaidi, A. Husain, A. Ghaffarianhoseini. – DOI 10.3390/su151410908 // Sustainability – 2023. – No. 15 (14).

5. Tuhaise, V. V. Technologies for digital twin applications in construction / V. V. Tuhaise, J. H. Mbatu Tah, F. H. Abanda // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 152. – Art. 104931.

6. Construction with Digital Twin Information Systems / R. Sacks, I. Brilakis, E. Pikas, S. Xie, M. Girolami. – DOI 10.1017/dce.2020.16 // Data-Centric Engineering – 2020. – Vol. 1 (e14). – No. 26.

7. Boschert, S. Digital Twin – The Simulation Aspect / S. Boschert, R. Rosen. – DOI 10.1016/j.jmsy.2022.06.015 // Mechatronic Futures. – 2016. – Pp. 59–74.

8. Digital twin modeling / F. Tao, B. Xiao, Q. Qi, J. Cheng, P. Ji // Journal of Manufacturing Systems. – 2022. – Vol. 64 – Pp. 372–389.

9. Liew, S.-C. Improving Construction Project Management Via 4D and 5D BIM in Sarawak: An Overview / S.-C. Liew, V. N.-S. Bong, R. M. Y.-Y. Fong. – DOI 10.1007/978-981-99-5547-3_18 // Lecture Notes in Electrical Engineering : Proceedings of ASEAN-Australian Engineering Congress (AAEC2022). – 2022. – Pp. 235–247.

10. Hasan, A. N. The Benefits of and Challenges to Implement 5D BIM in Construction Industry / A. N. Hasan, S. M. Rasheed. – DOI 10.28991/cej-2019-03091255 // Civil Engineering Journal. – 2019. – Vol. 5 – No. 2. – P. 412.

11. Digital Twin Framework for Enabling Serial Construction / S. Kosse, O. Vogt, M. Wolf, M. Konig, D. Gerhard. – DOI 10.3389/fbuil.2022.864722 // Frontiers in Built Environment. – 2022. – Vol. 8. – Art. 864722.

12. Brandín, R. IoT-BIM and blockchain integration for enhanced data traceability in offsite manufacturing / R. Brandín, S. Abrishami. – DOI 10.1016/j.autcon.2024.105266 // Automa-

зические строительные системы – 2019 : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 25 ноября 2019 года. – Москва : МГСУ, 2019. – С. 321–325.

21. Noskov, V. A. Automated monitoring of construction progress using 3D scanning technology / V. A. Noskov, I. L. Abramov // AIP Conference Proceedings. – 2025. – To publish.

22. Амбарцумян, С. А. Концептуальная модель системы управления цифровыми двойниками проекта строительства из крупногабаритных железобетонных модулей на основе больших языковых моделей / С. А. Амбарцумян, Д. Е. Мочалин // Строительное производство. – 2024. – № 4 (52). – С. 17–22.

tion in Construction. – 2024. – Vol. 159. – Art. 105266.

13. Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site / M. Pepe, D. Costantino, V. S. Alfio, A. G. Restuccia, N. M. Papalino. – DOI 10.1016/j.culher.2021.05.006 // Journal of Cultural Heritage. – 2021. – Vol. 50 – Pp. 115–125.

14. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice / Y. Arayici, S. Coates, L. J. Koskela et al. – DOI 10.1016/j.autcon.2010.09.016 // Automation in Construction. – 2011. – Vol. 20, Iss. 2. – Pp. 189–195.

15. Tran-Dang, H. Digital Twin-empowered intelligent computation offloading for edge computing in the era of 5G and beyond: A state-of-the-art survey / H. Tran-Dang, D.-S. Kim. – DOI 10.1016/j.icte.2025.01.002 // ICT Express. – 2025. – Vol. 11, Iss. 1. – Pp. 167–180.

16. When Blockchain Meets the AEC Industry: Present Status, Benefits, Challenges, and Future Research Opportunities / M. Cheng, G. Liu, Y. Xu, M. Chi. – DOI 10.3390/buildings11080340 // Buildings. – 2021. – Vol. 11, Iss. 8. – Art. 340.

17. Fang, Y. Research on monitoring technology of equipment processing based on digital twin / Y. Fang, J. Liu, R. Lu // Aeronautical Manufacturing Technology. – 2021. – Vol. 64, No. 4. – Pp. 91–96.

18. Grieves, M. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems / M. Grieves, J. Vickers // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. – 2017. – Pp. 85–113.

19. Lee, D., Lee, S. H. Digital Twin for Supply Chain Coordination in Modular Construction / D. Lee, S. H. Lee // Applied Scieces. – 2021. – Vol. 11, Iss.13. – Art. 5909.

20. Lapidus, A. A. Primenenie BIM-tekhnologij dlya kontrolya i otsenki stroitel'nykh riskov [Application of BIM Technologies for Monitoring and Assessing Construction Risks] / A. A. Lapidus, I. L. Abramov, Z. A. Al-Zaidi // Sistemotekhnika stroitel'stva. Kiberfizicheskie stroitel'nye sistemy – 2019 : Sbornik materialov Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [System Engineering in Construction. Cyber-Physical Construction Systems – 2019 : Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, November 25, 2019]. – Moscow : MGSU, 2019. – Pp. 321–325.

21. Noskov, V. A. Automated monitoring of construction progress using 3D scanning technology / V. A. Noskov, I. L. Abramov // AIP Conference Proceedings. – 2025. – To publish.

22. Ambartsumyan, S. A. Kontseptual'naya model' sistemy upravleniya tsifrovymi dvojnikiami proekta stroitel'stva iz krupnogabaritnykh zhelezobetonnykh modulej na osnove bol'shikh yazykovykh modelej [Conceptual Model of a Digital Twin Management System for a Construction Project from Large-Sized Reinforced Concrete Modules Based on Large Language Models] / S. A. Ambartsumyan, D. E. Mochalin // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 4 (52). – Pp. 17–22.

Определение зависимости затрат труда от диаметра и шага арматуры

Determination of the Dependence of Labor Costs on the Diameter and Pitch of the Reinforcement

Шилов Дмитрий Владимирович

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, dima.s17@mail.ru

Shilov Dmitry Vladimirovich

Postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production,
National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU),
Russia 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, dima.s17@mail.ru

Аннотация. Строительство является очень затратной и энергоёмкой отраслью экономики и, как правило, характеризуется как большой продолжительностью всего строительного цикла, так и отдельных видов работ. Для снижения себестоимости строительства сроки производства работ на протяжении многих десятилетий пытаются оптимизировать и сократить, используя различные технологии и алгоритмические инструменты. При этом любая предпроектная работа базируется на нормативах по затратам труда, которые определяются по ГЭСН.

Целью исследования являются анализ имеющейся научно-теоретической и прикладной базы по вопросу определения продолжительности работ и затрат труда, сравнение используемых в строительной отрасли нормативов ГЭСН и полученных эмпирическим путём значений трудовых и временных затрат на производство арматурных работ для дальнейшего развития

Abstract. Construction is a very expensive and energy-intensive branch of the economy and, as a rule, is characterized by both the long duration of the entire construction cycle and individual types of work. For many decades, attempts have been made to optimize and shorten the production time using various technologies and algorithmic tools to reduce the cost of construction. At the same time, any pre-project work is based on labor cost standards, which are determined by the GESN.

The purpose of the study is to analyze the available scientific, theoretical and applied base on the issue of determining the duration of work and labor costs, comparing the GESN standards used in the construction industry and the empirically obtained values of labor and time costs for the production of reinforcement

Введение

В Российской Федерации для организации и проведения строительно-монтажных работ используются нормативы по затратам труда, которые определяются по ГЭСН. На сегодняшний день расчётные значения времени производства работ и трудозатраты на это в проектах производства работ (ППР) и прочих документах имеют колоссальные расхождения. И зачастую эти величины не имеют ничего общего с реально происходящим на площадке. По этой причине в ряде случаев приходится определять продолжительность работ с помощью экспертных оценок, что приводит к существенной погрешности календарного планирования.

Для каждого объекта капитального строительства существуют сроки его реализации. В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 87 от февраля 2008 года, продолжительность возведения объекта капитального строительства обосновывается в составе проектной документации. Поэтому вопрос определения продолжительности работ на разных технологических участках исследу-

соответствующих бизнес-процессов в строительной отрасли.

С помощью методов математической статистики получен результат, который позволяет путём сравнения и сопоставления вычисленных данных сделать вывод о значительных расхождениях в нормативных документах. Вместе с этим различные цифровые технологии и модели строительного производства активно развиваются и внедряются для многих строительных циклов и процессов, поэтому для достоверного и эффективного планирования сроков завершения работ по объектам капитального строительства в дальнейшем целесообразно получение цифровых моделей этих работ.

Ключевые слова: трудозатраты, строительные работы, нормативы, численный эксперимент, цифровая модель, планирование.

work, in order to further optimize the relevant business processes in the construction industry.

Using the methods of mathematical statistics, a result was obtained that allows us to draw a conclusion about significant discrepancies in regulatory documents by comparing and contrasting the calculated data. At the same time, various digital technologies and models of construction production are actively developing and being implemented for many construction cycles and processes, therefore, for reliable and effective planning of completion dates for capital construction projects in the future, it is advisable to obtain digital models of these works.

Keywords: labor costs, construction work, standards, numerical experiment, digital model, planning.

ется на протяжении многих десятилетий и не теряет своей актуальности.

Наиболее интересные публикации отражают современные тенденции, которые могут использоваться вместе с традиционными решениями. Это, прежде всего, применение нейросетей, искусственного интеллекта и, безусловно, алгоритмизация и цифровизация процессов нормирования затрат в строительстве. К ним относятся:

- интеграция информационных технологий в систему управления инвестиционно-строительными проектами и создание систем виртуальной реальности [1];
- оценка выполнения условий организации труда с помощью нейронной сети [2];
- формулировка требований к исходным данным для построения цифровой модели [3] и определения технологического цикла производства работ по монтажу строительных конструкций на примере башенного крана [4];
- обоснование зависимости для вычисления продолжительности работ по возведению здания [5];

- использование программных комплексов для определения продолжительности работ [6];
- анализ параметров для построения цифровой модели выполнения работ [7; 8];
- применение аналитической модели на основе закона Эрланга n -го порядка для расчёта продолжительности работ [9];
- применение методов информационного моделирования исходных статистических данных на основе их корреляционно-регрессионного анализа [10; 11];
- использование BIM-моделей и цифровых двойников при организации процессов строительного производства [12];
- создание моделей и ранжирование факторов производительности труда [13].

Целью данной работы является определение расхождений нормативов в данных из различных таблиц ГЭСН 81-02-06-2020 «Сборник 6. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные» по трудозатратам на производство арматурных работ и оценка средней продолжительности работ на основании расчёта и анализа полученных величин, т. е. зависимости затрат труда от диаметра и шага арматуры, а именно получение реальных значений трудовых и временных затрат на производство арматурных работ с помощью методов математической статистики. При должном исследовании эту методику возможно использовать и на других участках и видах работ.

В данной публикации поставлены следующие задачи:

1. Осуществить выборку нормативных величин затрат труда для различных условий выполнения арматурных работ;
2. При помощи численного эксперимента определить для каждой величины затрат труда соответствующие значения шага и диаметра арматуры;
3. Установить регрессионную зависимость затрат труда от шага и диаметра арматуры.

Материалы и методы

В этом исследовании предлагается метод построения численной модели на основе обработки статистических данных, в результате которого определяется время вы-

полнения арматурных работ на основе обработки результатов с помощью множественной регрессии.

Планирование численного эксперимента выполнялось в соответствии со стандартной методикой оценки статистической достоверности измерений по ГОСТ 5725. При помощи метода наименьших квадратов выполнен расчёт коэффициентов при переменных в 2-факторной модели множественной регрессии. Уравнение в общем виде (1):

$$Y=a_1 \times X_1 + a_2 \times X_2, \tag{1}$$

где Y – величина функции (полученные затраты труда); X_1 – диаметр арматуры; X_2 – шаг сетки армирования плиты перекрытия; a_1, a_2 – постоянные коэффициенты.

Для определения затрат труда при вязке арматуры в качестве исходных данных были использованы следующие нормативные значения, приведённые в сборнике ГЭСН, в том числе в соответствии с п. 1.6.44.

1. По таблице 06-19-004-01 «Устройство железобетонных перекрытий и покрытий толщиной до 200 мм в инвентарной опалубке (подача бетона в бадьях) на высоте от опорной площадки: до 6 м» – 10,7 тонны арматуры и 833,6 чел.-ч. на устройство 100 м³ перекрытия.
2. Таблица 06-08-001-01 «Устройство перекрытий безбалочных толщиной: до 200 мм на высоте от опорной площади до 6 м» – 7,66 тонны арматуры и 806 чел.-ч. на 100 м³.
3. Таблица 06-08-001-03 «Устройство перекрытий безбалочных толщиной: более 200 мм на высоте от опорной площади до 6 м» – 6,63 тонны арматуры и 575 чел.-ч. на 100 м³.
4. Таблица 06-21-002-01 «Устройство железобетонных перекрытий в инвентарной опалубке (подача бетона автобетононасосом) толщиной до 200 мм, с изготовлением арматурных каркасов (сеток)» – 24,32 тонны арматуры и 743,85 чел.-ч. на 100 м³.

Результаты

В представленной работе вычисления произведены на примере монолитной железобетонной плиты с габаритными размерами 24 х 48 метров, толщиной 200 мм, объёмом 230,4 м³. С целью упрощения расчёта исполь-

	Диаметры, мм / масса 1-го пог. м, кг / общая длина стержней заданного диаметра, м								
	6	8	10	12	14	16	18	22	25
	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	1,998	2,984	3,853
табл. 06-19-004-01	111049	62412	39956	27762	20408	15623	12339	8262	6398
табл. 06-08-001-01	79498	44680	28604	19875	14610	11184	8833	5914	4580
табл. 06-08-001-03	68809	38672	24758	17202	12645	9680	7645	5119	3965
табл. 06-21-002	252402	141856	90816	63101	46385	35509	28045	18778	14543

Табл. 1. Общая длина стержней заданного диаметра
Tab. 1. Total length of rods of a given diameter

	Диаметры, мм / шаг сетки, м								
	6	8	10	12	14	16	18	22	25
табл. 06-19-004-01	0,042	0,074	0,116	0,167	0,227	0,297	0,376	0,564	0,731
табл. 06-08-001-01	0,058	0,103	0,162	0,233	0,317	0,416	0,527	0,792	1,028
табл. 06-08-001-03	0,067	0,119	0,187	0,269	0,367	0,481	0,610	0,917	1,191
табл. 06-21-002	0,018	0,033	0,051	0,073	0,100	0,130	0,165	0,247	0,319

Табл. 2. Полученный шаг сетки армирования
Tab. 2. The resulting reinforcement mesh pitch

	Диаметры, мм / кол-во пересечений, шт.								
	6	8	10	12	14	16	18	22	25
табл. 06-19-004-01	668465	211007	86406	41671	22489	13160	8196	3660	2188
табл. 06-08-001-01	342467	108074	44240	21327	11504	6728	4187	1867	1114
табл. 06-08-001-03	256512	80937	33125	15965	8609	5034	3131	1395	832
табл. 06-21-002	3455003	1091017	446982	215691	116489	68223	42525	19033	11398

Табл. 3. Количество пересечений всех стержней
Tab. 3. The number of intersections of all rods

	Диаметры, мм / затраты труда на 1 перевязываемый узел, чел.-ч. * 10 ⁽⁻³⁾								
	6	8	10	12	14	16	18	22	25
табл. 06-19-004-01	0,72	2,28	5,56	11,52	21,35	36,48	58,59	131,19	219,47
табл. 06-08-001-01	1,36	4,30	10,49	21,77	40,36	69,00	110,88	248,66	416,59
табл. 06-08-001-03	1,29	4,09	10,00	20,75	38,47	65,80	105,77	237,41	398,03
табл. 06-21-002	0,12	0,39	0,96	1,99	3,68	6,28	10,08	22,51	37,59
min/max • 100, %	1093	1094	1095	1096	1097	1099	1100	1105	1108

Табл. 4. Затраты труда на 1 перевязываемый узел. Расхождения
Tab. 4. Labor costs for 1 ligated node. Discrepancies

у	x1	x2	у	x1	x2	у	x1	x2	у	x1	x2
0,0007	6	0,0415	0,0014	6	0,0580	0,0013	6	0,0671	0,0001	6	0,0183
0,0023	8	0,0739	0,0043	8	0,1034	0,0041	8	0,1195	0,0004	8	0,0325
0,0056	10	0,1156	0,0105	10	0,1616	0,0100	10	0,1868	0,0010	10	0,0508
0,0115	12	0,1666	0,0218	12	0,2330	0,0207	12	0,2694	0,0020	12	0,0731
0,0214	14	0,2269	0,0404	14	0,3175	0,0385	14	0,3672	0,0037	14	0,0995
0,0365	16	0,2968	0,0690	16	0,4156	0,0658	16	0,4808	0,0063	16	0,1301
0,0586	18	0,3764	0,1109	18	0,5274	0,1058	18	0,6104	0,0101	18	0,1649
0,1312	22	0,5643	0,2487	22	0,7920	0,2374	22	0,9174	0,0225	22	0,2467
0,2195	25	0,7312	0,4166	25	1,0275	0,3980	25	1,1911	0,0376	25	0,3190

Табл. 5. Значения функции и соответствующие ей значения аргументов
Tab. 5. Function values and corresponding argument values

зуются такая модель, в которой вся масса, отведённая на армирование плиты перекрытия, сосредоточена исключительно в верхней и нижней арматурных сетках и имеет постоянный диаметр от 6 до 25 мм согласно сортаменту. В дальнейших исследованиях это возможно приблизить к реальным условиям с помощью введения различных коэффициентов.

Первым этапом из каждой таблицы ГЭСН была взята общая масса арматуры на плиту перекрытия. Затем из массы была вычислена общая длина стержней приведённых диаметров. Значения представлены в таблице 1.

После этого из общей длины стержней каждого диаметра найден шаг сетки армирования плиты, значения приведены в таблице 2.

Затем, зная шаг, нашли количество пересечений всех стержней в этих сетках. Значения представлены в таблице 3.

Имея величину трудозатрат на всю арматуру плиты, находим величину затрат труда на один перевязываемый узел (таблица 4). Сравнивая данные значения (нижняя строчка таблицы), получаем различия в ≈1100 % (11 раз).

Далее составлено уравнение множественной регрессии, в котором функция – это затраты труда, а аргументы – диаметры арматуры и шаг сетки. Значения функции и соответствующие ей значения аргументов представлены в таблице 5. Массив полученных данных прошёл проверку по критерию Кохрена и Граббса (по пп. 7.3.3.2.а

и 7.3.4.1.а ГОСТ Р ИСО 5725-2) и обеспечивает требования к корректности исходных данных. Значения функции и соответствующие ей значения аргументов представлены в таблице 5.

В результате получено уравнение (2):

$$Y = -0,0024 \times D + 0,3819 \times S,$$
 (2)

где *Y* – полученные затраты труда; *D* – диаметр арматуры; *S* – шаг сетки армирования плиты перекрытия. Наиболее существенное влияние на функцию имеет шаг сетки.

Для оценки достоверности этого уравнения использовались критерии Фишера и Стьюдента. Проверка по этим критериям показала, что уравнение обладает довольно высокой степенью достоверности.

Закключение

Таким образом, зависимость затрат труда от шага и диаметра арматуры определена. Расхождение теоретических (расчётных) и фактических значений, установленных на строительной площадке, не превышает 5 %. Данная идея апробирована на строительной площадке при строительстве многоэтажного жилого комплекса в городе Москве. Вместе с тем получение зависимости множественной регрессии с использованием цифровой модели обеспечит увеличение достоверности планируемых результатов строительных работ. Результат, полученный на примере, позволяет говорить о возможности практического применения и значительной эффективности цифровой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олейник, П. П. Основные тенденции развития организации строительного производства / П. П. Олейник. – DOI 10.54950/26585340_2022_2_21 // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 21–25.

2. Болотин, С. А. Регрессионная оценка норм затрат труда на основе нейросетевого моделирования / С. А. Болотин, Ю. Б. Х. Хошнав, Х. Бохан. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-3-127-133 // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 3 (80). – С. 127–133.

3. Interaction of Reinforcement, Process, and Form in Digital Fabrication with Concrete / H. Kloft, B. Sawicki, F. Bos, R. Dörrie, N. Freund, S. Gantner, L. Gebhard, N. Hack, E. Ivaniuk, Ja. Kruger, W. Kaufmann, Ja. Mata-Falcón, V. Mechtcherine, A. Mirjan, R. Wolfs, D. Lowke. – DOI 10.1016/j.cemconres.2024.107640 // Cement and Concrete Research. – 2024. – Vol. 186. – Art. 107640.

4. Кабанов, В. Н. Определение продолжительности монтажа при помощи цифровой модели технологического цикла башенного крана / В. Н. Кабанов. – DOI 10.36622/2541-7592.2024.73.1.007 // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2024. – № 1 (73). – С. 78–87.

5. Оценка продолжительности укладки бетонной смеси на монтажном горизонте / Е. В. Михайлова, Д. В. Орехова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3 (99).

6. Станкевич, В. М. Современные методы определения продолжительности времени, необходимого для проведения строительных работ, по факту и нормативам / В. М. Станкевич // E-Scio. – 2020. – № 3 (42). – С. 320–324.

7. Кулаков, Д. С. Нормирование информационных параметров виртуального паспорта для цифровой модели здания /

REFERENCES

1. Oleynik, P. P. Osnovnye tendentsii razvitiya organizatsii stroitel'nogo proizvodstva [The main trends in the development of the organization of construction production] / P. P. Oleynik. – DOI 10.54950/26585340_2022_2_21 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 2. – Pp. 21–25.

2. Bolotin, S. A. Regressionnaya otsenka norm zatrat truda na osnove nejrosetevogo modelirovaniya [Regression assessment of labor cost norms based on neural network modeling] / S. A. Bolotin, Yu.B. Khoshnav, H. Bohan. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-3-127-133 // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2020. – No. 3 (80). – Pp. 127–133.

3. Interaction of Reinforcement, Process, and Form in Digital Fabrication with Concrete / H. Kloft, B. Sawicki, F. Bos, R. Dörrie, N. Freund, S. Gantner, L. Gebhard, N. Hack, E. Ivaniuk, Ja. Kruger, W. Kaufmann, Ja. Mata-Falcón, V. Mechtcherine, A. Mirjan, R. Wolfs, D. Lowke. – DOI 10.1016/j.cemconres.2024.107640 // Cement and Concrete Research. – 2024. – Vol. 186. – Art. 107640.

4. Kabanov, V. N. Opredelenie prodolzhitel'nosti montazha pri pomoshhi tsifrovoj modeli tekhnologicheskogo tsikla bashennogo kрана [Determination of the duration of installation using a digital model of the technological cycle of a tower crane] / V. N. Kabanov. – DOI 10.36622/2541-7592.2024.73.1.007 // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arkhitektury [Scientific Journal of Construction and Architecture]. – 2024. – No. 1 (73). – Pp. 78–87.

5. Otsenka prodolzhitel'nosti ukkladki betonnoj smesi na montazhnom gorizonte [Evaluation of the duration of laying concrete mix on the installation horizon] / E. V. Mikhailova, D. V. Orekhova // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2023. – No. 3 (99).

6. Stankevich, V. M. Sovremennye metody opredeleniya prodolzhitel'nosti vremeni, neobkhodimogo dlya provedeniya

Д. С. Кулаков, Д. В. Карелин. – DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55 // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 41–55.

8. Bischof, P. Fostering Innovative and Sustainable Mass-Market Construction Using Digital Fabrication with Concrete / P. Bischof, Ja. Mata-Falcón, W. Kaufmann. – DOI 10.1016/j.cemconres.2022.106948 // Cement and Concrete Research. – 2022. – Vol. 161. – Art. 106948.

9. Михайлова, Е. В. Определение продолжительности возведения зданий и сооружений в условиях неопределённости / Е. В. Михайлова. – DOI 10.54950/26585340_2020_1_12 // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 12–16.

10. Олейник, П. П. Методы определения продолжительности строительства гражданских зданий / П. П. Олейник, Р. А. Ибрагимов, А. Ф. Сафин. – DOI 10.54950/26585340_2023_3_13 // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 13–19.

11. Олейник, П. П. Управление резервами роста производительности труда / П. П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 4. – С. 78–82.

12. Кулаков, Д. С. Нормирование информационных параметров виртуального паспорта для цифровой модели здания / Д. С. Кулаков, Д. В. Карелин. – DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55 // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 41–55.

13. Липидус, А. А. Метод повышения производительности труда в строительстве / А. А. Липидус. – DOI 10.22227/1997-0935.2024.8.1365-1372 // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19, № 8. – С. 1365–1372.

stroitel'nykh rabot, po faktu i normativam [Modern methods for determining the length of time required for carrying out construction work according to the fact and standards] / V. M. Stankevich // E-Scio. – 2020. – No. 3 (42). – Pp. 320–324.

7. Kulakov, D. S. Normirovanie informatsionnykh parametrov virtual'nogo pasporta dlya tsifrovoj modeli zdaniya [Normalization of information parameters of a virtual passport for a digital building model] / D. S. Kulakov, D. V. Karelin. – DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55 // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2024. – Vol. 26, No. 1. – Pp. 41–55.

8. Bischof, P. Fostering Innovative and Sustainable Mass-Market Construction Using Digital Fabrication with Concrete / P. Bischof, Ja. Mata-Falcón, W. Kaufmann. – DOI 10.1016/j.cemconres.2022.106948 // Cement and Concrete Research. – 2022. – Vol. 161. – Art. 106948.

9. Mikhailova, E. V. Opredelenie prodolzhitel'nosti vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy v usloviyakh neopredelyonnosti [Determination of the duration of the construction of buildings and structures in conditions of uncertainty] / E. V. Mikhailova. – DOI 10.54950/26585340_2020_1_12 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – No. 1. – Pp. 12–16.

10. Oleynik, P. P. Metody opredeleniya prodolzhitel'nosti stroitel'stva grazhdanskikh zdaniy [Methods for determining the duration of construction of civil buildings] / P. P. Oleynik, R. A. Ibragimov, A. F. Safin. – DOI 10.54950/26585340_2023_3_13 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – No. 3. – Pp. 13–19.

11. Oleinik, P. P. Upravlenie rezervami rosta proizvoditel'nosti truda [Management of labor productivity growth reserves] / P. P. Oleinik // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2018. – No. 4. – Pp. 78–82.

12. Kulakov, D. S. Normirovanie informatsionnykh parametrov virtual'nogo pasporta dlya tsifrovoj modeli zdaniya [Rationing of information parameters of a virtual passport for

a digital building model] / D. S. Kulakov, D. V. Karelin. – DOI 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55 // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2024. – Vol. 26, No. 1. – Pp. 41–55.

13. Lapidus, A. A. Metod povysheniya proizvoditel'nosti truda v stroitel'stve [Method of increasing labor productivity in construction] / A. A. Lapidus. – DOI 10.22227/1997-0935.2024.8.1365-1372 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2024. – Vol. 19, No. 8. – Pp. 1365–1372.

УДК 69.009 DOI: 10.54950/26585340_2025_1_30

Матрица распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта

The Function Distribution Matrix for Planning and Carrying Out Major Repairs

Полосина Ксения Владимировна

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; начальник производственного технического управления капитального ремонта ГКУ МО «Дирекция заказчика капитального строительства», Россия, 143401, Московская область, Красногорск, бульвар Строителей, 7, polosina_95@mail.ru

Polosina Kseniya Vladimirovna

Aspirant of the Department of Technology and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26; Head of the Production Technical Department of Capital repairs of the State-owned Institution of the Moscow region "Directorate of the Customer of Capital Construction", Russia, 143401, Moscow region, Krasnogorsk, bulvar Stroiteley, 7, polosina_95@mail.ru

Фатуллаев Рустам Сейфуллаевич

Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, FatullaevRS@mgsu.ru

Fatullaev Rustam Seifullayevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, FatullaevRS@mgsu.ru

Аннотация. Качество эффективного планирования и выполнения капитального ремонта во многом зависит от профессионального управления проектом. Одной из многочисленных частей процесса взаимодействия участников при планировании и выполнении работ капитального ремонта является её функция, которая имеет индивидуальный характер и состав соотносящейся с этой функцией работы.

Матрица распределения, или матрица функций, – это некая табличная структура, по вертикали которой размещают информацию об отделах или сотрудниках предприятия, а по горизонтали – управленческие функции. Для достижения поставленных задач в рамках данного исследования необходимо установить чёткие принципы формирования матрицы распределения функции.

Разработка алгоритма формирования матрицы предполагает последовательное выполнение этапов: определение функциональных требований, их анализ и последующую груп-

пировку. Установление чётких взаимосвязей между функциями и задачами позволит значительно сократить время на выполнение работ и оптимизировать внутренние процессы компании. Этапность создания матрицы включает в себя подготовительный, аналитический и исполнительный этапы.

В данном исследовании выявлены основные принципы формирования матрицы распределения функции, изучена этапность создания матрицы, а также разработан алгоритм формирования матрицы распределения при планировании и проведении капитального ремонта.

Детальный анализ и оптимизация матрицы распределения функции будут продолжены в следующих научных публикациях.

Ключевые слова: капитальный ремонт, объекты социального назначения, матрица распределения, критерии, принципы формирования, алгоритм формирования, планирование.

quirements, their analysis and subsequent grouping. Establishing clear relationships between functions and tasks will significantly reduce the time required to complete work and optimize the company's internal processes. The stages of matrix creation include preparatory, analytical and executive stages.

This study identifies the basic principles of forming a function distribution matrix, examines the stages of matrix creation, and develops an algorithm for forming a distribution matrix when planning and carrying out major repairs of social facilities.

Detailed analysis and optimization of the function distribution matrix will be continued in future scientific publications.

Keywords: major repairs, social facilities, distribution matrix, criteria, principles of formation, algorithm of formation, planning.

Введение

Капитальный ремонт зданий занимает одну из ключевых позиций в сфере строительства, особенно в условиях скорого увеличения числа объектов социального назначения. Качество эффективного планирования и выполнения капитального ремонта во многом зависит от профессионального управления проектом.

Формулирование задач, связанных с планированием и проведением работ капитального ремонта, играет ключевую роль в процессе реализации объекта [1; 2]. Условия и требования, обозначающие конкретные функциональные возможности, должны быть чётко определены, чтобы избежать задержек и недоразумений в последующих этапах разработки.

В данной статье будет смоделирована матрица распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта на примере структуры заказчика, а также рассмотрено её влияние на процесс выбора оптимального решения [3; 4].

При формулировании матрицы распределения функции при планировании и проведении работ необходимо придерживаться ряда правил: точность, абстрактность, лаконизм, количественная характеристика, полнота выявления функций. Соблюдение этих правил позволяет получить эффективные и универсальные функции, которые могут быть применены в различных контекстах и условиях [5; 6].

Одной из многочисленных частей процесса взаимодействия участников при планировании и выполнении работ капитального ремонта является её функция, которая имеет индивидуальный характер и состав соотносящейся с этой функцией работы. Функция взаимодействия подразумевает подходящее рассредоточение обязанностей и прав внутри предприятия, между его отделами и работниками.

Матрица распределения, или матрица функций, – это некая табличная структура, по вертикали которой размещают информацию об отделах или сотрудниках предприятия, а по горизонтали – управленческие функции. На пересечении столбцов и строк располагают описание конкретных управленческих функций по отделам компании. Это производится с использованием символических обозначений, которые показывают связь конкретного отдела или работника к исполнению определённых функций.

№ пп.	Правило	Описание правила
1	Точность	Предполагает однозначное определение сути функции, исключающее двусмысленность.
2	Абстрактность	Анализ помогает чётко выявить, какие функции могут быть оптимизированы или исключены, а также способствует выявлению незадействованных ресурсных возможностей. Регулярное обновление и пересмотр функций на этапе жизненного цикла объекта также значительно повышает его качество и эффективность.
3	Лаконизм	Чёткость и простота помогают сформулировать ясные идеи, которые можно легко интерпретировать. Сложные термины могут быть нежелательны на начальном этапе разработки, когда информация передаётся среди людей с разным уровнем экспертизы.
4	Качественная характеристика	Предполагает возможность измерения или оценки результативности функции, что важно для анализа и контроля.
5	Полнота выявления функций	Группировка функций позволяет визуализировать взаимодействие и взаимозависимость различных элементов объекта, что способствует лучшему пониманию его особенностей и может помочь в принятии будущих проектных решений. Системный подход к функциональному обеспечению гарантирует его устойчивый успех и долговечность на рынке.

Табл. 1. Основные принципы формировании матрицы распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта

Tab. 1. The basic principles of forming the matrix of distribution of functions in planning and carrying out major repairs

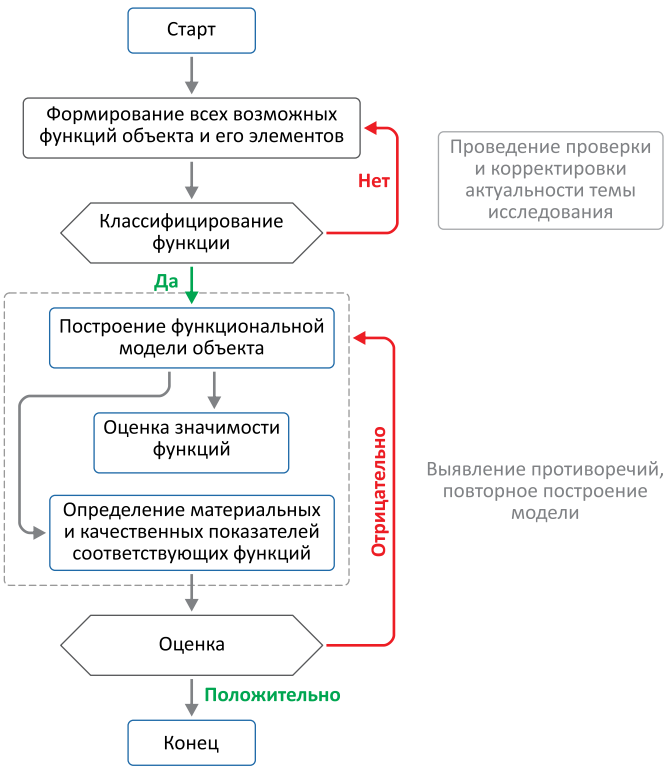


Рис. 1. Алгоритм формирования матрицы распределения при планировании и проведении капитального ремонта
Fig. 1. An algorithm for forming a distribution matrix when planning and carrying out major repairs

Материалы и методы

Цель исследования – разработать матрицу распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта на примере строительной компании.

Целью формулирования всех возможных функций объекта и его составных частей является поиск излишних функций, в которых заложен излишний ресурс.

Задачи исследования:

1. Выявить основные принципы формировании матрицы распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта.
2. Разработать алгоритм формирования матрицы распределения при планировании и проведении капитального ремонта.

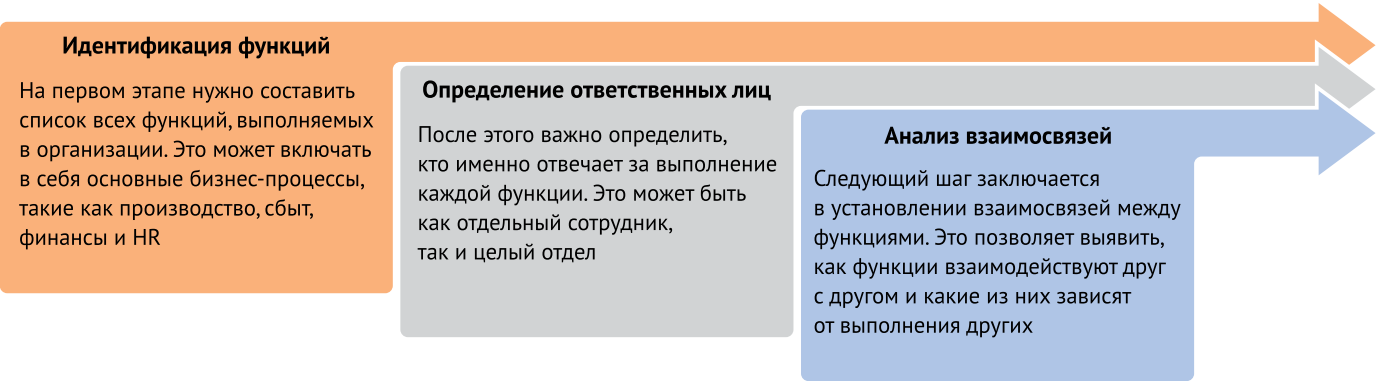


Рис. 2. Этапность создания матрицы распределения функции при планировании и проведении капитального ремонта
Fig. 2. The stage-by-stage creation of the function distribution matrix in planning and carrying out major repairs

3. Изучить этапность создания матрицы распределения функции при планировании и проведении капитального ремонта.
4. Оптимизировать матрицу распределения функции при обнаружении дублирующихся процессов.

Методики статистического анализа, такие как регрессионный и дисперсионный анализ, послужили основой для выявления закономерностей в распределении качества материалов, а также их влияния на общие способы исследования.

Результаты вышеуказанного анализа позволили выявить взаимозависимости между действиями участников и выделить приоритетные критерии и аспекты рассматриваемой матрицы, что, в свою очередь, даёт возможность определить важные параметры для дальнейшего изучения с целью разработки рекомендации для оптимизации процессов взаимодействия. Таким образом, углублённый анализ взаимодействий способен существенно повысить эффективность управленческих решений в данной области.

Результаты

Матрица функций представляет собой инструмент визуализации, который помогает определить, какие функции выполняются в организации, кто за них отвечает и как они соотносятся друг с другом. Установление чёткой связи между функциональными областями способствует лучшему пониманию процессов и выстраиванию эффективного взаимодействия между командами. Каждая функция, представленная в матрице, получает уникальный идентификатор, который позволяет легко отслеживать ответственность и роль сотрудников (рисунок 1).

Правильная формулировка отвечает не только за понимание процесса, но и за выбор оптимальных решений. Она должна создаваться с учётом различных альтернативных подходов, чтобы не сужать поле поиска. Если формулировка будет слишком узкой, то в процессе проектирования могут быть упущены эффективные решения (таблица 1).

С момента начала проекта и до его завершения формулировка должна постоянно пересматриваться и уточняться. Этот процесс помогает удерживать участников команды на одной волне и сосредоточиться на главном [7; 8].

С помощью матрицы распределения функции при планировании и проведении капитального ремонта можно выявить дублирующиеся функции и оптимизировать ресурсы, направляя их на стратегически важные задачи. Она также облегчает выявление узких мест и точек по-

тенциального роста, что является важным аспектом для повышения производительности. Заполнение матрицы требует активного участия различных подразделений, что способствует вовлечённости сотрудников и формированию общей культурной идентичности организации (рисунок 2).

Таким образом, матрица функций не только служит инструментом для анализа и планирования, но и выступает как платформа для стратегического развития, позволяя руководству принимать обоснованные решения и управлять изменениями в динамичной деловой среде.

Основные участники при планировании и проведении капитального ремонта указаны на рисунке 3.

В ходе исследования на примере структуры заказчика проанализированы и систематизированы должностные обязанности сотрудников строительной организации. Результаты проведённой работы сформированы в матрицу распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта на примере структуры заказчика (рисунок 4).

На рисунке в табличной форме в левой части указаны процессы, выполняемые внутри управления строительной компании. В правой части рисунка отражены участники соответствующего действия с учётом своего участия (И – исполнитель задачи; О – ответственный по выполнению; С – соисполнитель, участник второго плана; К – контролирующий участник).

Исследование показало, что имеются процессы, которые дублируются между участниками, что приводит к увеличению трудозатрат и продолжительности выполняемого процесса. Одной из главных задач матрицы функций является выявление дублирования функций. Такие



Рис. 3. Участники при планировании и проведении капитального ремонта
Fig. 3. Participants in the planning and implementation of major repairs

Процессы	№п/п	Подпроцесс	Производственно-технический отдел (капитальный ремонт)				Сметный отдел (капитальный ремонт)				Отдел расчета стоимости и свода затрат (капитальный ремонт)			
			Заместитель генерального директора 4	Начальник управления	Начальник отдела	Главный специалист	Заместитель генерального директора 4	Начальник управления	Начальник отдела	Главный специалист	Заместитель генерального директора 4	Начальник управления	Начальник отдела	Главный специалист
Б Л О К 1 7				Б Л О К 1 8				Б Л О К 1 9						
1.1		1.2	2.66	2.67	2.68	2.69	2.70	2.71	2.72	2.73	2.74	2.75	2.76	2.77
Управление капитального строительства и ремонта	1	Регистрация заявок на портале mos.ru			О	И								
	2	Контроль выполнения договорных обязательств подрядными организациями		О	С	С			С	С			С	С
	3	Контроль соответствия утвержденной проектно- сметной документации, рабочим чертежам и объемов в исполнительной документации		О	С	И			С	С			С	С
	4	Формирование реестров и проверка полноты состава исполнительной документации			К	И								
	5	Осуществление проверки актов по форме КС-2, КС- 3 у подрядных организаций, сверка с утвержденной сметой, составляет реестры по объектам			С	С		К	С	И			С	И
	6	Корректировка проектно-сметной документации по отрицательным заключениям государственной экспертизы		К	С	И								
	7	Организация выполнения плана, контроль за своевременной выдачей проектно-сметной и	К				К				К			

Рис. 4. Фрагмент матрицы распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта на примере структуры заказчика

Fig. 4. A fragment of the function distribution matrix for planning and carrying out major repairs using the example of the customer's structure

ситуации часто приводят к неэффективности и ненужным затратам. Устранение дублирования считается ключевым шагом к оптимизации работы.

Рассмотрим базовые аспекты, которые могли бы про-демонстрировать дублирование (рисунок 5).

Устранение дублирования функций приводит к более рациональному использованию ресурсов. Более того, это позволяет сосредоточить внимание на ключевых задачах, тем самым повышая общую результативность предприятия [9; 10].

Далее определим значимости выбранных дублирующих процессов с учётом данных из рисунка 4 и составим таблицу 2. Критерии, отобранные для составления матрицы и указанные в таблицах 2 и 3, выбраны с помощью метода экспертных оценок.

Абсолютный приоритет определяется следующим образом: первая оценка (0,5, 1, 1,5) умножается на сумму по первой строке, вторая оценка – на сумму по второй строке и т. д., и всё полученное суммируется. Относительный

приоритет определяется делением абсолютного приоритета на сумму абсолютных приоритетов по данной строке [11; 12].

$$R_1 = 1 \times 2,5 + 1 \times 2,5 + 0,5 \times 2 = 6,$$

$$R_2 = 1 \times 2,5 + 1 \times 2,5 + 0,5 \times 2 = 6,$$

$$R_3 = 0,5 \times 2,5 + 0,5 \times 2,5 + 1 \times 2 = 4,5,$$

$$R_4 = 1 \times 3,5 + 1,5 \times 2,5 + 1 \times 2 = 9,25,$$

$$R_5 = 1 \times 3,5 + 1 \times 2,5 + 0,5 \times 2 = 7,$$

$$R_6 = 0,5 \times 3,5 + 0,5 \times 2,5 + 1 \times 2 = 5,$$

$$R_7 = 1 \times 2,5 + 0,5 \times 3,5 + 1 \times 3 = 7,25,$$

$$R_8 = 1,5 \times 2,5 + 1 \times 3,5 + 1 \times 3 = 10,25,$$

$$R_9 = 1,5 \times 2,5 + 0,5 \times 3,5 + 1 \times 3 = 8,5.$$

Данные в таблице отражают степень важности функции в данной строке по отношению к функции в данном столбце. Цветом выделены ячейки наиболее важные и

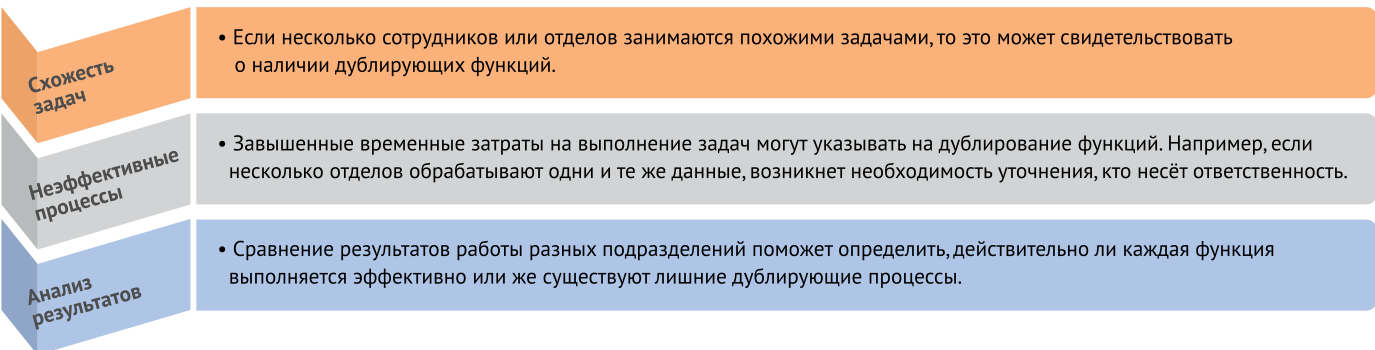


Рис. 5. Этапность базовых аспектов дублирования матрицы распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта

Fig. 5. The stage-by-stage nature of the basic aspects of duplicating the function allocation matrix in planning and carrying out major repairs

Критерий	Функция	F1	F2	F3	Сумма по строке (S = F1 + F2 + F3)	Абсолютный приоритет (R)	Суммарный приоритет (SP = ΣS)	Относительный приоритет (OP = R/SP)
C1	F1	1	1	0,5	2,5	6	7	0,85
	F2	1	1	0,5	2,5	6		0,85
	F3	0,5	0,5	1	2	4,5		0,64
C2	F1	1	1,5	1	3,5	9,25	8	1,15
	F2	1	1	0,5	2,5	7		0,87
	F3	0,5	0,5	1	2	5		0,88
C3	F1	1	0,5	1	2,5	7,25	9	0,88
	F2	1,5	1	1	3,5	10,25		1,13
	F3	1,5	0,5	1	3	8,5		0,94

Табл. 2. Матрица распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта на примере строительной компании

Tab. 2. The function distribution matrix for planning and carrying out major repairs using the example of a construction company

наименее важные по критериям. Зададим критерии для анализа, а именно присвоим обозначения:

- 1) C1 – контроль выполнения договорных обязательств подрядными организациями;
- 2) C2 – контроль соответствия утверждённой проектно-сметной документации рабочим чертежам и объёмам в исполнительной документации;
- 3) C3 – осуществление проверки актов по форме КС-2, КС-3 у подрядных организаций, сверка с утверждённой сметой, составление реестров по объектам;
- 4) F1 – участник 1 (отдел ПТО);
- 5) F2 – участник 2 (сметный отдел);
- 6) F3 – участник 3 (отдел расчётов).

Значение «0» говорит о меньшей важности данного критерия. Значение «1» – одинаковая важность данного критерия. Так, «1,5», например, обозначает, что участник F2 более значим, чем участник F1, при критерии C3. Расчёт относительных приоритетов проводится методом Гаусса.

Далее определяем приоритеты выбранных критериев (таблица 3).

$C_1 = 0,5 \times 2 + 0,5 \times 2 + 1 \times 3,5 = 5,5,$ (10)

$C_2 = 0,5 \times 2 + 0,5 \times 2 + 1 \times 3,5 = 5,5,$ (11)

$C_3 = 1,5 \times 2 + 1 \times 2 + 1 \times 3,5 = 8,5.$ (12)

На основе полученных значений рассчитаем общую значимость выбранных функций:

$F_1 = 0,85 \times 0,73 + 1,15 \times 0,73 + 0,88 \times 1,33 = 2,62,$ (13)

$F_2 = 0,85 \times 0,73 + 0,87 \times 0,73 + 1,13 \times 1,33 = 2,75,$ (14)

$F_3 = 0,64 \times 0,73 + 0,88 \times 0,73 + 1 \times 1,33 = 2,43.$ (15)

Следовательно, проведённые исследования позволяют сделать вывод о большей важности функции F₂, что является предпосылкой для проведения дальнейшего анализа матрицы функции и критериев.

Обсуждение

Таким образом, в данном исследовании:

- выявлены основные принципы формирования матрицы распределения функции при планировании и проведении работ капитального ремонта;
- изучена этапность создания матрицы распределения функции при планировании и проведении капитального ремонта;
- разработан алгоритм формирования матрицы распределения при планировании и проведении капитального ремонта.

Детальный анализ и оптимизация матрицы распределения функций будут продолжены в следующих научных публикациях.

Заключение

Формулировка задач является основополагающим элементом в процессе планирования и проведения работ, который оказывает значительное влияние на эффективность и результативность завершения. Чёткие и абстрактные формулировки позволяют участникам процесса лучше понять свои обязанности и выявить наиболее рациональные и оптимальные варианты решений.

Дополнительно результаты исследования показали, что взаимосвязь между функциями участников при планировании и выполнении работ по капитальному ремонту является многогранной и неоднозначной. В некоторых случаях высокая цена ресурсов обуславливает значительно более высокое качество, в то время как в других – проявляется обратная зависимость. Полученные данные могут служить платформой для дальнейших исследований и разработок в области управления проектами, не только углубляя понимание внутренней логики взаимосвязей, но и позволяя предлагать практические рекомендации для специалистов.

В рамках данного исследования мы использовали сравнительный, сопоставительный и аналитические методы. Сравнительный метод позволил нам изучить различные аспекты и этапы формирования матрицы по взаимодействию участников капитального ремонта [13].

Критерий	C1	C2	C3	Сумма по строке	Абсолютный приоритет	Суммарный приоритет	Относительный приоритет
C1	0,5	0,5	1	2	5,5	7,5	0,73
C2	0,5	0,5	1	2	5,5		0,73
C3	1,5	1	1	3,5	8,5		1,33

Табл. 3. Определение важности выбранных критериев

Tab. 3. Determining the importance of the selected criteria

В дальнейшем на основе полученных результатов будут разработаны рекомендации для оптимизации взаимодействия участников ремонта, что позволит не только глубже понять процесс взаимодействия участников капи-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лapidус, А. А. Формирование организационно-технологических платформ в строительстве / А. А. Лapidус. – DOI 10.54950/26585340_2022_1_2 // Строительное производство. – 2022. – № 1. – С. 2–6.

2. Лapidус, А. А. Обоснование процесса выбора организационно-технологических решений / А. А. Лapidус, П. П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – 2024.– № 5. – С. 70–74.

3. Лapidус, А. А. Оптимизация процессов использования строительной техники с применением методов линейного программирования / А. А. Лapidус, З. Р. Тускаева, Е. А. Соколова // Строительное производство. – 2024. – № 1. – С. 85–91.

4. Крюков, К. М. Методология повышения качества управления при интегрированном подходе к реализации инвестиционно-строительных проектов / К. М. Крюков, М. Аль-Зубайди // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 8 (68). – С. 1–11.

5. Фатуллаев, Р. С. Оценка влияния степени механизации на трудоёмкость работ по капитальному ремонту в России и Испании / Р. С. Фатуллаев, А. Е. Боровкова, Д. С. Седов // Строительное производство. – 2024. – № 2. – С. 94–99.

6. Кагазезhev, А. Ю. Анализ существующих подходов к определению межремонтных сроков МКД в регионах РФ / А. Ю. Кагазезhev, Р. С. Фатуллаев. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-2-97-98 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 2. – С. 97–99.

7. Осуществление функций технического заказчика при капитальном ремонте жилых зданий / А. А. Лapidус, Р. С. Фатуллаев, А. А. Ткаченко, Г. А. Сабанов // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – № 4 (82). – С. 50–55.

8. Analytical study of the actual cost of the completed overhaul of

REFERENCES

1. Lapidus, A. A. Formirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh platform v stroitel'stve [Formation of organizational and technological platforms in construction] / A. A. Lapidus. – DOI 10.54950/26585340_2022_1_2 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 1. – Pp. 2–6.

2. Lapidus, A. A. Obosnovanie protsesssa vybora organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij [Justification of the process of choosing organizational and technological solutions] / A. A. Lapidus, P. P. Olejnik // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2024. – No. 5. – Pp. 70–74.

3. Lapidus, A. A. Optimizatsiya protsesssov ispol'zovaniya stroitel'noj tekhniki s primeneniem metodov linejnogo programmirovaniya [Optimization of the processes of using construction machinery using linear programming methods] / A. A. Lapidus, Z. R. Tuskaeva, E. A. Sokolova // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 1. – Pp. 85–91.

4. Kryukov, K. M. Metodologiya povysheniya kachestva upravleniya pri integrirovannom podkhode k realizatsii investitsionno-stroitel'nykh projektov [Methodology for improving the quality of management with an integrated approach to the implementation of investment and construction projects] / K. M. Kryukov, M. Al'-Zubajdi // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2020. – No. 8 (68). – Pp. 1–11.

5. Fatullaev, R. S. Otsenka vliyaniya stepeni mekhanizatsii na trudoemkost' rabot po kapital'nomu remontu v Rossii i Ispanii [Assessment of the impact of the degree of mechanization on the complexity of major repairs in Russia and Spain] / R. S. Fatullaev, A. E. Borovkova, D. S. Sedov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 2. – Pp. 94–99.

6. Kagazezhev, A. Yu. Analiz suschestvuyuschikh podkhodov k

тального ремонта, но и разработать практические рекомендации, способствующие повышению эффективности и успешности проектов в строительной отрасли.

multi-apartment residential buildings in Russia / R. S. Fatullaev, T. Kh. Bidov, Ya. V. Shesterikova, D. M. Nikolenko. – DOI 10.1051/e3sconf/202338906029 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023), Chelyabinsk, 25–28 апреля 2023 года. – Chelyabinsk : EDP Sciences, 2023. – Vol. 389. – P. 06029.

9. Анализ стоимости выполненных работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных жилых домах в субъектах Российской Федерации / А. А. Лapidус, Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, Д. М. Николенко. – DOI 10.54950/26585340202323 // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 3–7.

10. Формирование индексов перехода от базового уровня цен к уровням цен в отдельных субъектах РФ в рамках разработки сборника укрупнённых базовых стоимостей работ по капитальному ремонту МКД / Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, Д. Э. Абдрашитова, Г. А. Сабанов. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-3-389-393 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 389–393.

11. Ястремская, П. В. Функционально-стоимостной анализ : учебное пособие / П. В. Ястремская, С. В. Шишло, А. А. Пузыревская. – Минск : БГТУ, 2016. – 98 с.

12. Ласоцкая, О. В. Сущность метода попарного анализа и метода расстановки приоритетов в функционально-стоимостном анализе / О. В. Ласоцкая, А. А. Пузыревская // Science Time. – 2021. – № 5 (89). – С. 99–101.

13. Фатуллаев, Р. С. Формирование параметров, влияющих на организационно-технологические решения при проведении внеплановых ремонтных работ / Р. С. Фатуллаев // Перспективы науки. – 2017. – № 8 (95). – С. 36–41.

opredeleniyu mezhremontnykh srokov MKD v regionakh RF [Analysis of existing approaches to determining the inter-repair periods of MCD in the regions of the Russian Federation] / A. Yu. Kagazezhev, R. S. Fatullaev. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-2-97-98 // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. – 2024. – No. 2. – Pp. 97–99.

7. Osuschestvlenie funktsij tekhnicheskogo zakazchika pri kapital'nom remonte zhilykh zdaniy [Performing the functions of a technical customer during major repairs of residential buildings] / A. A. Lapidus, R. S. Fatullaev, A. A. Tkachenko, G. A. Sabanov // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – No. 4 (82). – Pp. 50–55.

8. Analytical study of the actual cost of the completed overhaul of multi-apartment residential buildings in Russia / R. S. Fatullaev, T. Kh. Bidov, Ya. V. Shesterikova, D. M. Nikolenko. – DOI 10.1051/e3sconf/202338906029 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023), Chelyabinsk, April 25-28, 2023.– Chelyabinsk : EDP Sciences, 2023. – Vol. 389. – P. 06029.

9. Analiz stoimosti vypolnennykh rabot po kapital'nomu remontu obshchego imuschestva v mnogokvartirnykh zhilykh domakh v sub'ektakh Rossijskoj Federatsii [Analysis of the cost of major repairs of common property in multi-apartment residential buildings in the subjects of the Russian Federation] / A. A. Lapidus, R. S. Fatullaev, T. H. Bidov, D. M. Nikolenko. – DOI 10.54950/26585340202323 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – No. 2. – Pp. 3–7.

10. Formirovanie indeksov perekhoda ot bazovogo urovnya tsen k urovnjam tsen v otdel'nykh sub'ektakh RF v ramkakh razrabotki sbornika ukрупnennykh bazovykh stoimostey rabot po kapital'nomu remontu [Formation of indices of the transition

from the base price level to the price levels in individual subjects of the Russian Federation in the framework of the development of a collection of consolidated base costs for the overhaul of the MCDJ MKD / R. S. Fatullaev, T. H. Bidov, D. E. Abdrashitova, G. A. Sabanov. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-3-389-393 // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. – 2023. – No. 3. – Pp. 389–393.

11. Yastremskaya, P. V. Funktsional'no-stoimostnoj analiz : uchebnoe posobie [Functional and cost analysis : training manual] / P. V. Yastremskaya, S. V. Shishlo, A. A. Puzyrevskaya. – Minsk : BGTU, 2016. – 98 p.

12. Lasockaya, O. V. Suschnost' metoda poparnogo analiza i metoda rasstanovki prioriteto v funktsional'no-stoimostnom analize [The essence of the pairwise analysis method and the prioritization method in functional cost analysis] / O. V. Lasockaya, A. A. Puzyrevskaya // Science Time. – 2021. – No. 5 (89).0–Pp. 99–101.

13. Fatullaev, R. S. Formirovanie parametrov, vliyayuschikh na organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya pri provedenii vneplanovykh remontnykh rabot [Formation of parameters affecting organizational and technological decisions during unscheduled repairs] / R. S. Fatullaev // Perspektivy nauki [Perspectives of science]. – 2017. – No. 8 (95). – Pp. 36–41.

УДК 69.05 DOI: 10.54950/26585340_2025_1_36

Сокращение продолжительности возведения оболочки башенной испарительной градирни

Reducing the Duration of the Construction of the Shell of the Tower Evaporative Cooling Tower

Экба Сергей Игоревич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, sergeyekba@yandex.ru

Ekba Sergey Igorevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, sergeyekba@yandex.ru

Ялунин Глеб Геннадьевич

Студент магистратуры кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, g.yalunin@gmail.com

Yalunin Gleb Genndyevich

Master's degree student of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, g.yalunin@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены способы оптимизации процесса строительства оболочки башенной испарительной градирни на примере проекта АЭС «Руппур». Особое внимание уделено ключевым этапам реализации проекта и разработке комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности и сокращение продолжительности выполнения работ. В статье представлены результаты применения системы оперативного планирования «Последний планировщик», которая позволила значительно улучшить координацию действий участников строительства, обеспечив оптимальное распределение ресурсов и контроль за выполнением работ.

Акцентируется внимание на особенностях совмещения строительных операций, что позволяет снизить временные затраты на выполнение отдельных этапов работ. Благодаря ис-

Abstract. The article discusses ways to optimize the process of building the shell of an evaporative cooling tower using the example of the Rupur Nuclear Power Plant project. Special attention is given to key stages of project implementation and the development of a set of organizational and technical measures aimed at increasing efficiency and reducing work completion times. The article presents the results of applying the "Last Planner" operational planning system, which significantly improved the coordination of construction participants, ensuring optimal resource allocation and work execution monitoring.

Emphasis is placed on the implementation of a flow construction method and the parallel execution of construction operations, which helped reduce time costs for individual stages. By utilizing

пользованию современных технологий, автоматизации строительных процессов и модернизации методов работы удалось сократить продолжительность возведения одного яруса до 4 суток. Кроме того, внедрение эффективной системы управления трудовыми и материальными ресурсами способствовало снижению общих издержек и временных потерь.

В статье делается вывод о значительном повышении производительности и сокращении времени реализации проекта за счёт предложенных мер. Полученные результаты могут быть использованы для улучшения аналогичных процессов на других крупных строительных объектах, в том числе в сфере энергетического строительства.

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_36

Сокращение продолжительности возведения оболочки башенной испарительной градирни

Reducing the Duration of the Construction of the Shell of the Tower Evaporative Cooling Tower

Экба Сергей Игоревич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, sergeyekba@yandex.ru

Ekba Sergey Igorevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, sergeyekba@yandex.ru

Ялунин Глеб Геннадьевич

Студент магистратуры кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, g.yalunin@gmail.com

Yalunin Gleb Genndyevich

Master's degree student of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, g.yalunin@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены способы оптимизации процесса строительства оболочки башенной испарительной градирни на примере проекта АЭС «Руппур». Особое внимание уделено ключевым этапам реализации проекта и разработке комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности и сокращение продолжительности выполнения работ. В статье представлены результаты применения системы оперативного планирования «Последний планировщик», которая позволила значительно улучшить координацию действий участников строительства, обеспечив оптимальное распределение ресурсов и контроль за выполнением работ.

Акцентируется внимание на особенностях совмещения строительных операций, что позволяет снизить временные затраты на выполнение отдельных этапов работ. Благодаря ис-

Abstract. The article discusses ways to optimize the process of building the shell of an evaporative cooling tower using the example of the Rupur Nuclear Power Plant project. Special attention is given to key stages of project implementation and the development of a set of organizational and technical measures aimed at increasing efficiency and reducing work completion times. The article presents the results of applying the "Last Planner" operational planning system, which significantly improved the coordination of construction participants, ensuring optimal resource allocation and work execution monitoring.

Emphasis is placed on the implementation of a flow construction method and the parallel execution of construction operations, which helped reduce time costs for individual stages. By utilizing

modern technologies, automating construction processes, and modernizing work methods, the duration of constructing a single tier was reduced to four days. Furthermore, the introduction of an effective system for managing labor and material resources contributed to lowering overall costs and time losses.

The article concludes that the proposed measures led to a significant increase in productivity and a reduction in project implementation time. The results obtained can be used to improve similar processes in other large construction projects, especially in the energy construction sector.

Keywords: construction optimization, tower cooling tower, operational planning, flow method, duration, Rupur Nuclear Power Plant, work coordination.

Введение

Башенные испарительные градирни – это сложные инженерные сооружения, предназначенные для охлаждения воды, используемой в технологических процессах промышленных предприятий, таких как атомные электростанции (АЭС). Градирня является важной частью системы охлаждения, которая позволяет поддерживать необходимый температурный режим для эффективной работы оборудования. В современном строительстве таких объектов одной из ключевых задач является минимизация времени возведения [1–2].

Атомные электростанции, в свою очередь, играют ключевую роль в обеспечении энергобезопасности государства. АЭС являются источником экологически чистой энергии, что особенно важно в условиях глобального изменения климата и сокращения углеродного следа. Строительство и эксплуатация таких объектов требуют высоких стандартов безопасности и эффективности. Проект АЭС «Руппур», реализуемый при поддержке производственной системы Росатома, предусматривает применение передовых технологий и методов управления строительными процессами для достижения максимальной производительности и минимизации продолжительности строительства.

Материалы и методы

Планирование строительства АЭС традиционно включает в себя ряд этапов: проектирование, закупка, изготовление, поставка, СМР, ПНР – при этом взаимная увязка как отдельных этапов, так и ведущих технологических процессов оказывает влияние на общую продолжительность реализации проекта. В рамках настоящего исследования способы сокращения продолжительности рассмотрены на примере ведущего технологического процесса при возведении башенной испарительной градирни как

одного из сооружений, лежащих на критическом пути строительства АЭС «Руппур».

Для анализа и оптимизации процесса использованы следующие методы:

1. Сбор, анализ и обработка информации – проведён анализ текущих строительных процессов с целью выявления «узких мест» и зон для улучшения. В настоящем исследовании рассматривается процесс управления продолжительностью бетонных работ с учётом предлагаемых приёмов на этапах армирования, бетонирования и демонтажа опалубки оболочки башенной испарительной градирни.
2. Моделирование и картографирование – карта текущего состояния процесса позволила визуализировать последовательность и продолжительность операций при возведении оболочки башенной испарительной градирни. На основании этого разработаны предложения по сокращению продолжительности выполнения ключевых этапов.
3. Внедрение поточного метода – с целью сокращения продолжительности строительства применён поточный метод возведения с использованием опалубочной системы ДОКА175, которая позволяет выполнять несколько процессов одновременно, минимизируя временные разрывы между операциями [3; 5–7].
4. Анализ организационных структур – предложены и внедрены решения по увеличению численности рабочих, параллельному выполнению операций и улучшению логистики строительных материалов [6].

Результаты

Анализ текущего состояния строительства оболочки башенной испарительной градирни АЭС «Руппур» показал, что процесс возведения одного яруса оболочки зани-

№ пп.	Проблема	Решение
1	Увеличенная продолжительность процесса армирования: замер шага арматуры рулеткой	Использование технологической оснастки – изготовить шаблоны с необходимым шагом арматуры
2	При демонтаже опалубки задействована 1 бригада на 2 градирни	Оптимизация состава бригад – организовать параллельную работу 4 бригад по подъёму опалубки на каждой градирне
3	При подъёме опалубки на следующий ярус задействована 1 бригада на 2 градирни. Возникают простои при ожидании опалубки	Оптимизация состава бригад – организовать параллельную работу 4 бригад по подъёму опалубки на каждой градирне
4	Работы, производимые на башенных испарительных градирнях (армирование, откатка щитов опалубки, очистка опалубки, бетонирование) ведутся последовательно	Оптимизация методов производства работ – внедрить поточный метод работ «по спирали»

Табл. 1. Проблемы и план мероприятий по достижению нужного темпа возведения оболочки башенной испарительной градирни
Tab. 1. Problems and an action plan to achieve the required rate of construction of the shell of the tower evaporative cooling tower

ИТОГО: ВПП возведения одного яруса оболочки = 288 часов (12 суток)



Рис. 1. Карта текущего состояния процесса
Fig. 1. Current state process map

мает 12 суток (рисунок 1). Такая продолжительность обусловлена действием ряда негативных факторов, включая последовательное выполнение этапов [8] (при отсутствии технологической необходимости), отсутствие достаточной координации между бригадами, сбои в логистических цепочках при поставке оборудования и материалов [9].

После проведения оптимизации достигнуты следующие результаты:

- Сокращение времени армирования с одного дня до 0,5 дня – достигнуто за счёт внедрения поточного метода, увеличения численности рабочих и использования шаблонов.
- Ускорение демонтажа опалубки с 7 дней до 0,3 дня – за счёт улучшенной организации труда и использования специализированного оборудования.
- Оптимизация подъёма опалубки позволила сократить этот этап с 1,3 дня до 0,3 дня. Применение новой опалубочной системы обеспечило более технологичное выполнение операции за счёт подбора оптимальной номенклатуры щитов опалубки, исключения сложных технологических операций по сборке.
- Процесс бетонирования: внедрён метод бетонирования яруса по захваткам «по спирали», за счёт чего продолжительность этапа сократилась до 0,8 дня на 20 %.

Внедрение системы «Последний планировщик» (Last plan), который устанавливает порядок планирования и производственного контроля строительно-монтажных работ для выявления и сокращения потерь позволило оценить эффективность производимых работ и внести корректировки. Система основана на недельно-суточном планировании с применением инструментов бережливого производства [3–5].

Таким образом, внедрение предложенных решений позволило снизить общую продолжительность возведения одного яруса с 12 суток до 3 суток. Это соответствует целевым показателям и значительно превышает ожидания по сокращению времени строительства.

Обсуждение

Применение новых методов и подходов к организации строительства позволило достичь значительного прогресса в оптимизации процесса возведения оболочки градирни. Основное внимание уделено параллельному выполнению операций и улучшению координации между бригадами [6–8]. Это позволило исключить временные разрывы между этапами и значительно ускорить выполнение ключевых операций.

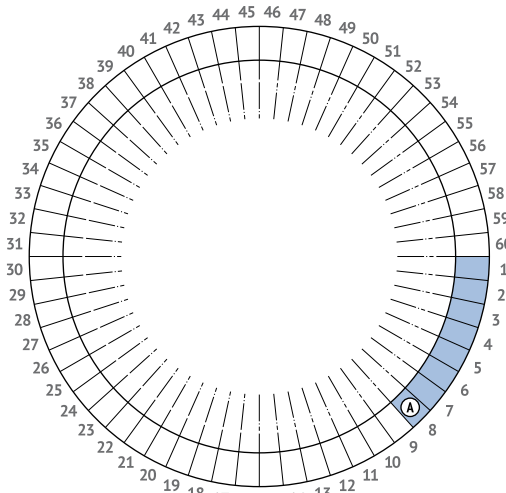
Одним из ключевых факторов успеха стала корректировка организационно-технологических решений опалубочных работ за счёт внедрения более технологичной опалубочной системы DOKA175, которая позволила ускорить выполнение операций по монтажу и демонтажу опалубки. Значительная часть работ посвящена совершенствованию организационной структуры этапа бетонирования, обучению рабочих приёмам работы с опалубочной системой ДОКА, точности сборки и контролю качества выполняемых работ, что позволило минимизировать количество дефектов и необходимость повторного выполнения отдельных операций.

Заключение

Оптимизация процесса возведения оболочки башенной испарительной градирни на АЭС «Руппур» привела к значительному сокращению продолжительности строительства с 12 до 3 суток на один ярус.

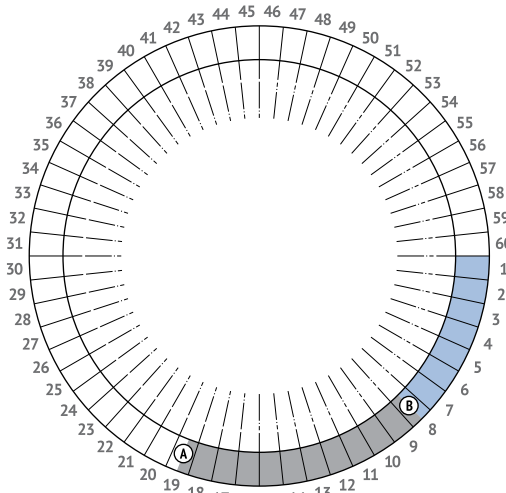
Предложенные в статье организационно-технологические решения оптимизации процесса возведения оболочки башенной испарительной градирни на примере

Бригада, занятая на распалубке
Время: 7.00 ч (начало работ: 6.00 ч)



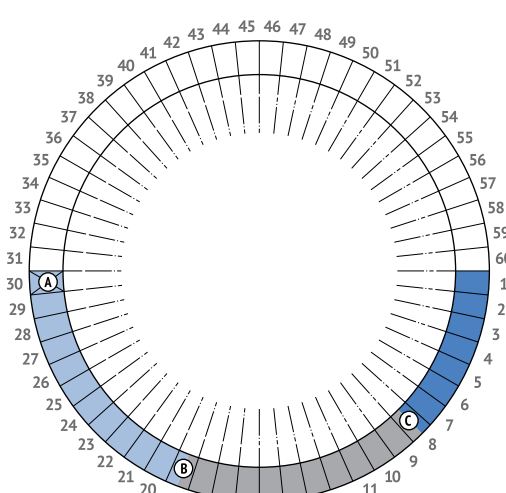
9753-012

Бригада на перемещении опалубки
Время: 8.30 ч (начало работ: 7.30 ч)



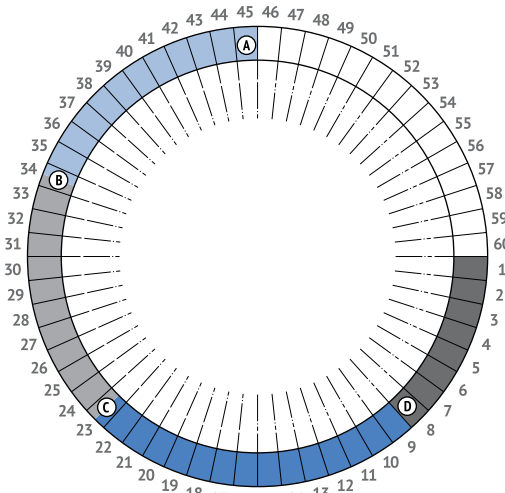
9753-013

Бригада монтажников опалубки
Время: 10.00 ч (начало работ: 9.00 ч)



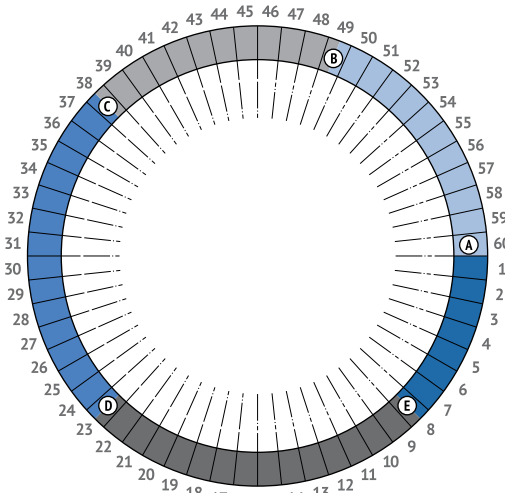
9753-014

Бригада бетонщиков
Время: 12.00 ч (начало работ: 11.00 ч)



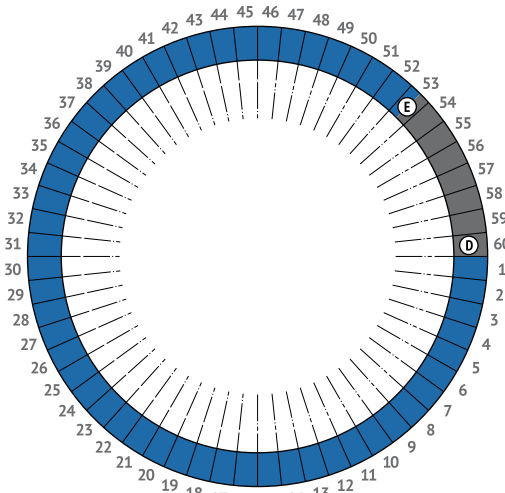
9753-015

Бригада арматурщиков
Время: 14.00 ч (начало работ: 13.00 ч)



9753-016

Распалубка, перемещение и монтаж опалубки
Время: 20.00 ч



9753-017

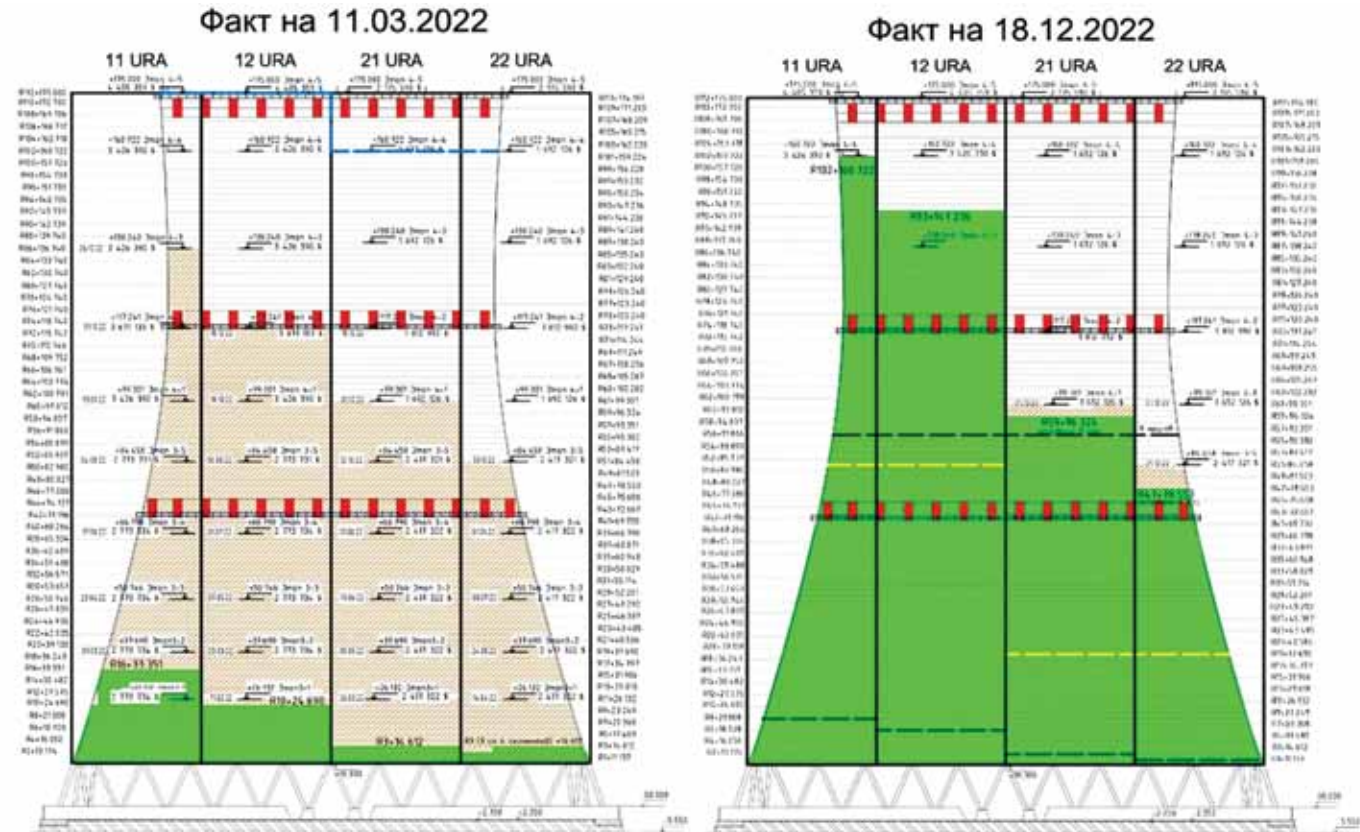


Рис. 2. Визуализация бетонирования ярусов башенной испарительной градирни
Fig. 2. Visualization of tier concreting for the tower evaporative cooling tower

Рис. 3. Метод возведения яруса
Fig. 3. Tier construction method



Рис. 4. Карта фактического состояния процесса после оптимизации
Fig. 4. Actual process state map after optimization

АЭС «Руппур» продемонстрировали высокую эффективность. Применение системы оперативного планирования «Последний планировщик», внедрение поточного метода возведения вместо последовательного позволили значительно сократить сроки строительства проекта и оптимизировать использование трудовых и материальных ресурсов. В результате удалось достичь целевого значения возведения одного яруса за 4 суток, что свидетельствует о высокой результативности принятых решений.

Кроме того, система управления, включающая внедрение современных технологий и автоматизированных систем контроля, способствовала снижению издержек и минимизации временных потерь. Предложенные мероприятия обеспечили не только сокращение продолжительности выполнения работ, но и повышение общей производительности проекта. Полученные результаты

могут быть использованы для применения на объектах-аналогах, крупных строительных объектах, в сфере энергетики при производстве бетонных работ.

Таким образом, реализация предложенных мероприятий подтверждает возможность существенного повышения эффективности строительства за счёт использования современных методов планирования и управления процессами. Предложенные подходы к сокращению продолжительности возведения оболочки башенной испарительной градирни на АЭС «Руппур» позволяют распространить их на все этапы реализации проекта строительства АЭС, дают возможность оценить общий критический путь проекта, определить основные причины отклонений, выявлять компенсирующие мероприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Габалова, Д. В. О применении градирен башенного типа / Д. В. Габалова, С. А. Ращепкина // Наукосфера. – 2022. – № 4-2. – С. 198–203.

2. Раков, А. Ю. Градирни / А. Ю. Раков, С. Р. Тарасов // Международная научно-техническая конференция молодых учёных БГТУ им. В. Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 20–21 мая 2024 года. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2024. – С. 79–84.

3. Дроговоз, П. А. Система развёртывания производственной базы Росатома в инжиниринговой компании полного цикла / П. А. Дроговоз, О. Б. Ивашченко // Технология машиностроения. – 2020. – № 10. – С. 48–57.

4. Рясков, С. С. Бережливое производство как способ повышения эффективности промышленного предприятия / С. С. Рясков, Я. С. Рясков // Наука настоящего и будущего. – 2019. – Т. 2. – С. 115–118.

5. Румненко, М. С. Lean Smart Plant – новый уровень развития производственной системы «Росатом» / М. С. Румненко // Повышение производительности труда на транспорте – источник развития и конкурентоспособности национальной экономики : Труды V Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 26 мая 2021 года. – Москва : ГИ ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», 2021. – С. 18–20.

REFERENCES

1. Gabalova, D. V. O primeneniі gradiren bashennogo tipa [On the Use of Tower-Type Cooling Towers] / D. V. Gabalova, S. A. Raschepkina // Naukosfera [Naukosfera]. – 2022. – No. 4-2. – Pp. 198–203.

2. Rakov, A. Yu. Gradirni [Cooling Towers] / A. Yu. Rakov, S. R. Tarasov // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shuhova [International

6. Лapidus, A. A. Совершенствование организационной структуры инжиниринговой компании / А. А. Лapidus, В. И. Пасканый. – DOI 10.54950/26585340_2023_3_2 // Строительное производство. – 2023. – № 3. – С. 2–8.

7. Лapidus, A. A. Повышение эффективности организационных структур при строительстве промышленных зданий / А. А. Лapidus, О. В. Логинова, Т. Т. Алборов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 12 (84). – С. 581–590.

8. Мезенцев, А. С. Анализ взаимодействия проектной организации и технического заказчика при реализации объекта жилищного строительства / А. С. Мезенцев, О. З. Зекир-Оглы, С. И. Экба // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023 : Сборник докладов IV Национальной научной конференции, Москва, 15 декабря 2023 года. – Москва : Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет), 2024. – С. 713–718.

9. Ялунин, Г. Г. Особенности выбора организационно-технических решений при строительстве зданий и сооружений в условиях ограничения доступности ресурсов / Г. Г. Ялунин, И. А. Лаврентьев, С. И. Экба // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023 : Сборник докладов IV Национальной научной конференции, Москва, 15 декабря 2023 года. – Москва : Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет), 2024. – С. 710–712.

Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU named after V.G. Shukhov] : Sbornik dokladov [Collection of Reports], Belgorod, May 20–21, 2024. – Belgorod : Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2024. – Pp. 79–84.

3. Drogovoz, P. A. Sistema razvertyvaniya proizvodstvennoy bazy Rosatoma v inzhiniringovoy kompanii polnogo tsikla [System for Deploying Rosatom's Production Base in a Full-Cycle

Engineering Company] / P. A. Drogovoz, O. B. Ivashchenko // Tekhnologiya mashinostroeniya [Engineering Technology]. – 2020. – No. 10. – Pp. 48–57.

4. Ryaskov, S. S. Berezhlivoe proizvodstvo kak sposob povysheniya ehffektivnosti promyshlennogo predpriyatiya [Lean Production as a Way to Improve the Efficiency of an Industrial Enterprise] / S. S. Ryaskov, Ya. S. Ryaskov // Nauka nastoyashhego i budushhego [Science of the Present and Future]. – 2019. – Vol. 2. – Pp. 115–118.

5. Rumnenko, M. S. Lean Smart Plant - novyy uroven' razvitiya proizvodstvennoy sistemy «Rosatom» [Lean Smart Plant - A New Level of Development of the Rosatom Production System] / M. S. Rumnenko // Povyshenie proizvoditel'nosti truda na transporte - istochnik razvitiya i konkurentosposobnosti natsional'noj ehkonomiki : Trudy V Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [Increasing Labor Productivity in Transport - A Source of Development and Competitiveness of the National Economy : Proceedings of the V All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, May 26, 2021]. – Moscow : [Russian University of Transport (MIIT)], 2021. – Pp. 18–20.

6. Lapidus, A. A. Sovershenstvovanie organizatsionnoy struktury inzhiniringovoy kompanii [Improving the Organizational Structure of an Engineering Company] / A. A. Lapidus, V. I. Paskanny. – DOI 10.54950/26585340_2023_3_ // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2023. – No. 3. – Pp. 2–8.

7. Lapidus, A. A. Povyshenie ehffektivnosti organizatsionnykh struktur pri stroitel'stve promyshlennykh zdaniy [Increasing the Efficiency of Organizational Structures in the Construction of Industrial Buildings] / A. A. Lapidus, O. V. Loginova, T. T. Alborov // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the

Don.] – 2021. – No. 12 (84). – Pp. 581–590.

8. Mezentsev, A. S. Analiz vzaimodeystviya proektnoy organizatsii i tekhnicheskogo zakazchika pri realizatsii ob'ekta zhilishhnogo stroitel'stva [Analysis of the Interaction Between a Design Organization and a Technical Customer in the Implementation of a Residential Construction Project] / A. S. Mezentsev, O. Z. Zekir-Ogly, S. I. Ekba // Aktual'nye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya - 2023 : Sbornik dokladov IV Natsional'noj nauchnoy konferentsii, Moskva, 15 dekabrya 2023 goda [Current Problems of the Construction Industry and Education - 2023 : Collection of Reports of the IV National Scientific Conference, Moscow, December 15, 2023]. – Moscow : Moskovskij gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet (natsional'nyy issledovatel'skiy universitet) [Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)], 2024. – Pp. 713–718.

9. Yalunin, G. G. Osobennosti vybora organizatsionno-tekhnicheskikh reshenij pri stroitel'stve zdaniy i sooruzhenij v usloviyakh ograniicheniya dostupnosti resursov [Features of Choosing Organizational and Technical Solutions for the Construction of Buildings and Structures Under Resource Availability Constraints] / G. G. Yalunin, I. A. Lavrentiev, S. I. Ekba // Aktual'nye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya - 2023 : Sbornik dokladov IV Natsional'noj nauchnoy konferentsii, Moskva, 15 dekabrya 2023 goda [Current Problems of the Construction Industry and Education - 2023: Collection of Reports of the IV National Scientific Conference, Moscow, December 15, 2023]. – Moscow : Moskovskij gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet (natsional'nyy issledovatel'skiy universitet) [Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)], 2024. – Pp. 710–712.

УДК 65.011

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_41

Разработка ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки качества ремонтно-строительных работ

Development of Key Performance Indicators (KPI) to Assess the Quality of Repair and Construction Works

Кустикова Юлия Олеговна

Кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, KustukovaYO@mgsu.ru

Kustikova Yulia Olegovna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, KustukovaYO@mgsu.ru

Смолина Лидия Филипповна

Кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, SmolinaLF@mail.ru

Smolina Lidiya Filippovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, SmolinaLF@mail.ru

Панкова Елена Валериевна

Аспирант 4-го курса, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, elena.pankova.97@mail.ru

Pankova Elena Valerievna

4th year postgraduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, elena.pankova.97@mail.ru

Аннотация. Данная статья рассматривает важность разработки ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки качества ремонтно-строительных работ. Строительная отрасль включает в себя широкий спектр деятельности, требующий системного подхода к контролю и управлению. Разработка и использование KPI помогает улучшить качество работ, повысить эффективность процессов и обеспечить удовлетворение заказчика.

В статье проводится детализированный анализ различных типов ключевых показателей эффективности (KPI), включающих временные, финансово-экономические и качественные индикаторы, а также требования заказчика, соблюдение регламентированных технологических процессов, обеспечение охраны труда и экологической устойчивости. Особое внимание уделяется функциональной значимости каждого вида KPI и их непосредственному влиянию на операционную эффективность и успешность реализации строительных проектов. Рассматриваются алгоритмы количественной и качественной оценки KPI, обеспечивающие возможность комплексного мониторинга

Abstract. This article examines the importance of developing key performance indicators (KPI) to assess the quality of repair and construction works. The construction industry includes a wide range of activities that require a systematic approach to control and management. The development and utilization of KPI helps to improve the quality of work, increase process efficiency and ensure customer satisfaction.

The article provides a detailed analysis of different types of key performance indicators (KPI), including time, financial, economic and quality indicators, as well as customer requirements, compliance with regulated technological processes, occupational safety and environmental sustainability. Special attention is paid to the functional importance of each type of KPI and their direct impact on the operational efficiency and success of construction projects. The algorithms of quantitative and qualitative assessment of KPI are considered, which provide the possibility of com-

Введение

Ремонтно-строительные работы представляют собой неотъемлемый элемент современной инженерной инфраструктуры, обеспечивающий реконструкцию, модернизацию и эксплуатацию жилых, транспортных, коммунальных и промышленных объектов. Эффективная реализация данных процессов требует не только высокой квалификации инженерно-технического персонала и применения передовых строительных технологий, но и строгого регламентирования процедур контроля качества, управления ресурсами и соблюдения нормативных требований [1].

Оценка качества ремонтно-строительных мероприятий выступает критически важным фактором, определяющим эксплуатационную надёжность и долговечность зданий и сооружений, а также уровень удовлетворённости заказчиков. В данном контексте разработка и внедрение системы ключевых показателей эффективности (KPI) становится необходимым инструментом для систематизированного мониторинга и управления строительными процессами на всех этапах их жизненного цикла.

Высокая степень сложности строительных проектов обуславливает не только технические особенности их реализации, но и необходимость комплексного управления производством и сроками выполнения работ, строгое соблюдение требований, а также соответствие требованиям проектной документации и действующим строительным нормам.

В этой связи при разработке системы KPI следует учитывать не только технико-эксплуатационные харак-

теристически значимых параметров качества, а также своевременной идентификации и корректировки отклонений от проектных нормативов.

Функциональная интеграция KPI в систему управления строительными процессами способствует повышению прозрачности операционной деятельности, снижению вероятности возникновения дефектов, рациональному распределению и оптимизации эксплуатационных ресурсов, а также минимизации производственных и экологических рисков. В статье также рассматриваются практические аспекты имплементации KPI, включая необходимость параметрической адаптации показателей в соответствии со спецификой конкретного строительного объекта, а также критическую важность координационного взаимодействия всех заинтересованных сторон в рамках процесса мониторинга и оценки показателей качества.

Ключевые слова: показатели эффективности, оценка качества работ, система мониторинга, контроль качества, технические стандарты, производительность, количество дефектов.

prehensive monitoring of critically important quality parameters, as well as timely identification and correction of deviations from design standards.

Functional integration of KPI into the construction process management system contributes to increased operational transparency, reduced probability of defects, rational allocation and optimization of operational resources, as well as minimization of production and environmental risks. The article also discusses practical aspects of KPI implementation, including the need for parametric adaptation of indicators in accordance with the specifics of a particular construction project, as well as the critical importance of coordination interaction of all stakeholders within the process of monitoring and evaluation of quality indicators.

Keywords: performance indicators, work quality assessment, monitoring system, quality control, technical standards, productivity, number of defects.

теристики, но и такие аспекты, как удовлетворённость заказчика, соответствие установленным нормативам, эффективность использования материально-технических ресурсов и обеспечение безопасности на объектах.

В данной работе проведено исследование ключевых показателей эффективности для оценки качества выполнения ремонтно-строительных работ. Также приведены методологические подходы к их разработке. Посредством системного анализа проектных требований и характеристик результатов определяются наиболее важные критерии, влияющие на успешность выполнения ремонтно-строительных работ.

Особое внимание уделяется методологии формирования KPI, включающей определение ключевых параметров, соответствующих нормативно-технической документации и стандартам качества, а также разработке системы мониторинга и оценки. Рассматриваются основные группы показателей, охватывающие временные, финансовые, качественные и эксплуатационные характеристики, а также аспекты удовлетворения требований, соблюдения технологических регламентов и обеспечения безопасности.

Предложенный в исследовании авторами подход к разработке KPI позволит не только объективно оценивать качество выполняемых работ, но и повысить уровень управления проектами, минимизировать риски и оптимизировать расход ресурсов, что в совокупности способствует успешной реализации ремонтно-строительных мероприятий и достижению поставленных целей.

Материалы и методы

Главной целью исследования является разработка системы ключевых показателей эффективности, позволяющей обеспечить точную и объективную оценку качества ремонтно-строительных работ. Основные задачи, решаемые в рамках исследования, включают:

- Формирование системы KPI для выявления факторов, оказывающих влияние на качество работ, и использование эффективных методов контроля.
- Повышение эффективности выполнения строительных и ремонтных работ за счёт регулирования распределения ресурсов, сокращения временных затрат и повышения общей производительности.
- Учёт ожиданий и требований заказчиков при выборе системы KPI, что позволит повысить их удовлетворённость итоговыми результатами.
- Использование предложенной системы KPI в качестве основы для разработки рекомендаций, направленных на повышение качества ремонтно-строительных работ.

Таким образом, целью данного исследования является система KPI, обеспечивающая не только объективную оценку качества строительных работ, но и их совершенствование, рост эффективности процессов и создание удовлетворённости заказчиков. Кроме того, внедрение предлагаемой системы будет способствовать формированию унифицированных отраслевых стандартов и передовых практик в сфере строительства.

Результаты исследования

Основная цель разработки KPI заключается в обеспечении точной и объективной оценки качества выполненных работ. Это включает в себя не только аспекты технического исполнения, но и соблюдение сроков, бюджета, стандартов безопасности и других параметров. Ключевые показатели эффективности позволяют измерить производительность, идентифицировать проблемные области и принимать своевременные корректирующие меры [2].

На начальном этапе реализации проекта необходимо чётко определить цели и требования заказчика. Данный процесс обеспечивает идентификацию ключевых критериев качества, их количественную и качественную оценку, а также установление приоритетных параметров для последующего мониторинга и контроля.

На основе целей проекта выбираются ключевые показатели, которые наилучшим образом отражают его успех. Это могут быть, например, процент завершённых работ в срок, количество дефектов, соответствие техническим стандартам и т. д. Для каждого выбранного KPI устанавливаются целевые значения, которые должны быть достигнуты. Эти значения должны быть конкретными, измеримыми и достижимыми.

В процессе разработки формируется интегрированная система мониторинга, обеспечивающая непрерывное отслеживание ключевых показателей в реальном времени. Для реализации данной задачи используются специализированные программные комплексы, регламентированные процедуры отчётности и средства визуализации данных. Полученные сведения подвергаются аналитической обработке с целью выявления закономерностей, оперативной диагностики отклонений и последующей корректировки технологических процессов для обеспечения соответствия установленным целям.

В результате проведённых исследований разработана система ключевых показателей эффективности (KPI), охватывающая комплекс параметров, характеризующих различные аспекты качества и производительности ремонтно-строительных работ. Формирование перечня показателей осуществлялось на основе анализа требований заказчиков, систематизации данных литературных источников.

Для каждого выбранного KPI разработаны методики количественного и качественного измерения, обеспечивающие объективность и достоверность мониторинговых данных. В рамках методологического обоснования определены единицы измерения, частота контрольных процедур, критерии оценки и пороговые значения допустимых отклонений.

Имплементация предложенной системы KPI способствует повышению эффективности управления ремонтно-строительными процессами за счёт сокращения временных затрат, минимизации дефектности и увеличения уровня удовлетворённости заказчиков. Внедрение данных инструментов обеспечивает оптимизацию процессов ресурсного планирования, совершенствование механизмов контроля сроков и бюджета, а также рациональное распределение функциональных обязанностей между участниками проектной деятельности [3–6].

Разработанная система KPI может быть использована в качестве основы для унификации отраслевых стандартов и формирования комплекса передовых практик в области оценки качества ремонтно-строительных работ. Её применение способствует повышению профессиональной квалификации специалистов, совершенствованию технологических процессов и общему росту качества строительной продукции.

Анализ и систематизация собранных данных по KPI создают предпосылки для принятия более обоснованных управленческих решений, оперативного реагирования на возникающие риски и разработки корректирующих мероприятий. Для эффективного внедрения системы KPI требуется обучение персонала методам использования новых инструментов оценки, что способствует повышению компетенций специалистов в области управления строительными проектами.

Эти результаты подтверждают эффективность разработанной системы KPI и её значимость для оценки и улучшения качества ремонтно-строительных работ.

Рассмотрим более детально различные типы ключевых показателей эффективности, которые могут быть использованы для оценки качества ремонтно-строительных работ. Каждый тип KPI представляет собой уникальный набор метрик, которые помогают измерить различные факторы качества выполнения работ и эффективности проекта в целом.

1. Временные показатели

Оценка выполнения работ в установленные сроки является одним из ключевых аспектов качества проекта. Поздние сроки выполнения работ могут привести к неудовлетворённости заказчика и дополнительным расходам. Примеры временных показателей включают процент завершённых работ в срок и количество дней задержки сдачи проекта.

2. Бюджетные показатели

Оценка соблюдения бюджета проекта и эффективного использования ресурсов также является важным аспек-

Тип KPI	Описание	Показатель
Временные показатели	Оценка выполнения работ в установленные сроки и соблюдение графика работ	Процент завершённых работ в срок
Бюджетные показатели	Оценка соблюдения бюджета проекта и эффективного использования ресурсов	Соответствие фактических затрат запланированным
Качественные показатели	Оценка качества выполненных работ и соответствия стандартам	Процент дефектов, оценка качества работ
Удовлетворённость заказчика	Оценка уровня удовлетворённости заказчика	Оценка удовлетворённости заказчика
Соблюдение технологических процессов	Оценка соблюдения технологических процессов при выполнении работ	Соответствие технологическим требованиям
Безопасность работников	Оценка безопасности рабочего процесса и предотвращение несчастных случаев	Количество производственных несчастных случаев
Экологическая устойчивость	Оценка соблюдения экологических стандартов и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду	Соблюдение экологических стандартов

Табл. 1. Типы KPI для оценки качества ремонтно-строительных работ
Tab. 1. Types of KPI for assessing the quality of repair and construction works

том оценки качества работ. Превышение бюджета может привести к финансовым потерям и неудовлетворённости заказчика. Примеры бюджетных показателей включают соответствие фактических затрат запланированным и процент бюджета, использованный на данный момент.

3. Качественные показатели

Оценка качества выполненных работ и соответствия стандартам является ключевым аспектом обеспечения качества проекта. Высокое качество работ способствует удовлетворённости заказчика и уменьшению количества дефектов. Примеры качественных показателей включают процент дефектов, оценку качества работ и степень соответствия техническим требованиям.

4. Удовлетворённость заказчика

Оценка уровня удовлетворённости заказчика является ключевым аспектом оценки успешности проекта. Высокая удовлетворённость заказчика способствует повторному сотрудничеству и положительному имиджу компании. Примеры показателей удовлетворённости заказчика включают оценку удовлетворённости заказчика и процент повторных обращений.

5. Соблюдение технологических процессов

Оценка соблюдения технологических процессов при выполнении работ важна для обеспечения качества и безопасности проекта. Несоблюдение технологических процессов может привести к повышенному риску возникновения дефектов и аварийных ситуаций. Примеры показателей соблюдения технологических процессов включают соответствие технологическим требованиям и соблюдение технической документации.

6. Безопасность работников

Общее количество несчастных случаев на рабочем месте во время выполнения работ. Доля работ, выполненных с соблюдением требований по безопасности труда. Безопасность работников является приоритетным аспектом в ремонтно-строительной сфере. Мониторинг данных KPI по безопасности помогает предотвращать несчастные случаи и обеспечивать безопасные условия труда для всех работников [7; 8].

7. Экологическая устойчивость

Оценка соответствия выполненных работ экологическим стандартам и нормативам. Общее количество нарушений, связанных с негативным воздействием на окружающую среду во время выполнения работ. В настоящее время экологическая устойчивость становится всё более важной в ремонтно-строительной отрасли. Оценка соответствия экологическим стандартам и минимизация не-

гативного воздействия на окружающую среду помогают создать экологически устойчивые проекты и предотвратить возможные экологические проблемы.

На основании вышеизложенного были структурированы таблица типов KPI, а также таблица ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки качества ремонтно-строительных работ [8].

В таблице 1 представлена классификация основных типов KPI, применяемых в ремонтно-строительной отрасли.

Учёт данных типов KPI обеспечивает комплексный подход к оценке качества ремонтно-строительных работ, включая аспекты безопасности труда и экологической устойчивости. Это позволяет не только обеспечить успешное выполнение проекта, но и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить безопасные условия труда для всех участников процесса.

В таблице 2 приведены основные KPI, их описание, методы измерения и пороговые значения, необходимые для объективного контроля и оценок ремонтно-строительных работ.

Эти показатели могут быть важными для комплексной оценки качества ремонтно-строительных работ, с учётом разнообразия аспектов, включающих техническое качество, соблюдение стандартов безопасности и экологических требований, а также сроки выполнения проекта [9; 10]. Для определения ключевых показателей эффективности для оценки качества ремонтно-строительных работ мы можем использовать различные математические подходы. Один из них основывается на анализе соответствия выполненных работ заданным стандартам и требованиям. Формула для определения ключевых показателей эффективности для оценки качества работ:

$$KPI_{\text{качество}} = \frac{\text{Количество успешно завершённых этапов работ}}{\text{Общее количество этапов работ}} \cdot 100 \%$$

где:

- KPI_{качество} – показатель эффективности (KPI) для оценки качества работ;
- количество успешно завершённых этапов работ –это количество работ, выполненных без дефектов или несоответствий;
- общее количество этапов работ – общее число этапов работ в проекте.

Чем выше значение KPI качества – тем лучше качество работ.

Ключевой показатель эффективности (KPI)	Описание	Единица измерения	Временной интервал	Пороговые значения	Формула расчёта показателя
Процент завершённых работ в срок	Доля работ, выполненных в установленные сроки	Процент (%)	Еженедельно	Не менее 95 %	(Выполненные работы в срок / общее количество работ) × 100 %
Количество дефектов	Общее количество выявленных дефектов	Штуки	Ежедневно	Менее 5 на 100 м²	Количество выявленных дефектов / площадь работ (м²) × 100
Удовлетворённость заказчика	Оценка удовлетворённости заказчика	Оценка от 1 до 10	Ежемесячно	Не менее 8 из 10	Среднее значение оценок, полученных от заказчиков
Соответствие бюджету проекта	Соответствие фактических затрат запланированным	Процент (%)	Еженедельно	Не более 5 %	((Фактические затраты – запланированные затраты) / запланированные затраты) × 100 %
Качество исполнения работ	Оценка качества выполненных работ	Оценка от 1 до 5	Ежедневно	Не менее 4 из 5	Средняя оценка качества по результатам исследований
Процент повторных обращений	Доля заказчиков, обратившихся повторно	Процент (%)	Ежемесячно	Менее 10 %	(Число повторных заказов / общее количество заказчиков) × 100 %
Процент выполненных работ по техническим требованиям	Доля работ, выполненных в соответствии с техническими требованиями	Процент (%)	Еженедельно	Не менее 90 %	(Объём работ, соответствующих требованиям / общий объём работ) × 100 %
Соблюдение технологических процессов	Оценка соблюдения технологических процессов	Оценка от 1 до 5	Ежедневно	Не менее 4 из 5	Средний уровень соответствия на основе результатов проведённых исследований
Задержки в сдаче проекта	Общее количество дней задержки сдачи проекта	Дни	Ежемесячно	Менее 10 дней	Фактический срок завершения – запланированный срок завершения
Количество производственных несчастных случаев	Общее количество несчастных случаев на производстве	Штуки	Еженедельно	Менее 2 на месяц	Количество зарегистрированных несчастных случаев за отчётный период
Соблюдение экологических стандартов	Оценка соблюдения экологических стандартов	Оценка от 1 до 5	Ежедневно	Не менее 4 из 5	Средняя оценка с учётом экологических норм по результатам исследований

Табл. 2. Ключевые показатели эффективности (KPI) для оценки качества ремонтно-строительных работ
Tab. 2. Key performance indicators (KPI) for assessing the quality of repair and construction works

Эта формула выражает процент успешно завершённых этапов работ от общего числа этапов. Чем выше значение этого показателя – тем выше качество выполненных работ.

Обсуждение

Разработка системы измерения показателей эффективности для оценки качества ремонтно-строительных работ представляет собой важный шаг в повышении эффективности управления строительными проектами. В ходе исследования были определены основные группы ключевых показателей эффективности, охватывающие различные аспекты выполнения работ, такие как соблюдение сроков, качество контроля, бюджетная эффективность, безопасность и экологическая устойчивость.

Одними из аспектов, обсуждаемых в статье, являются выбор показателей, обеспечение их объективности и возможность принимать управленческие решения на основе фактических данных. Временные показатели, например, процент завершённых работ в срок, позволяют оценить эффективность планирования и согласования работ. В то же время качественные показатели, как количество дефектов или соответствие строительным нормативам, отражают реальное состояние выполнения работ.

Также важным аспектом обсуждения являются методология расчёта KPI и их внедрение в систему управления строительными процессами. В качестве примера можно рассчитывать как вручную, так и с применением BIM-технологий, системы управления проектами (например, Primavera P6, Microsoft Project) и аналитических платформ (Power BI, Tableau). Использование цифровых технологий позволяет минимизировать влияние человеческого фактора и оперативно выявлять отклонения от нормативных результатов.

Ещё одним важным аспектом является интеграция KPI в систему мотивации персонала. Грамотно выстро-

енная система показателей не только повышает уровень контроля за выполнением строительных работ, но и способствует росту мотивации сотрудников, побуждая их к достижению более высоких результатов.

Внедрение системы KPI в управление строительными процессами позволяет не только получить объективную оценку качества выполненных работ, но и повысить прозрачность процессов, улучшить взаимодействие между всеми участниками проекта и обеспечить эффективное распределение ресурсов. В дальнейшем перспективные исследования в этой области могут быть направлены на автоматизацию сбора и анализа данных, совершенствование методик прогнозирования, а также разработку интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе KPI.

Заключение

В рамках проведённого исследования была разработана система показателей эффективности, предназначенная для оценки качества ремонтно-строительных работ. Данная система включает в себя комплекс показателей, охватывающих различные аспекты деятельности, такие как соблюдение установленных сроков, контроль рабочих мест и качества выполнения работ, а также уровень удовлетворённости заказчика.

Внедрение данной системы KPI позволяет достичь нескольких важных целей. Прежде всего, она обеспечивает повышение качества выполняемых работ. За счёт применения данной методики обеспечивается контроль по всем этапам строительства, что даёт возможность своевременно выявлять и предотвращать возникающие дефекты, обеспечивая соответствие установленным нормативным требованиям.

Кроме того, система KPI оказывает положительное влияние на процесс принятия управленческих решений. Наличие объективных данных о ходе выполнения даёт

УДК 65.05

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_47

Среда общих данных как инструмент цифрового управления строительными проектами

Common Data Environment as a Digital Management Tool for Construction Projects

Абрамов Иван Львович

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, AbramovIL@mgsu.ru

Abramov Ivan Lvovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, AbramovIL@mgsu.ru

Григорьев Михаил Иванович

Студент магистратуры, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, grigorevmgsu@yandex.ru

Grigoriev Mikhail Ivanovich

Master's student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, grigorevmgsu@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается использование среды общих данных (СОД) как ключевого инструмента цифровой трансформации строительной отрасли. Актуальность темы обусловлена сложностью управления современными инвестиционно-строительными проектами, необходимостью эффективного взаимодействия между их участниками и увеличением объёма данных. Основное внимание уделено российским разработкам в области СОД, которые стали активно развиваться после ограничения доступа к зарубежному программному обеспечению.

В исследовании поставлены и решены задачи изучения исторических предпосылок создания СОД, оценки российских программных продуктов и определения ключевых требований к СОД с помощью сравнительного анализа. Проведён анализ научных публикаций, нормативных документов и материалов производителей программных решений. Получен результат сравнительного анализа пяти отечественных СОД – Pilot-BIM, Project Point, SAREX, SIGNAL и Vitro-CAD, выявлены их сильные

Abstract. The article discusses the use of the Common Data Environment (CDE) as a key tool for the digital transformation of the construction industry. The relevance of the topic is due to the complexity of managing modern investment and construction projects, the need for effective interaction between their participants and an increase in the amount of data. The main attention is paid to Russian developments in the field of CDE, which began to develop actively after access to foreign software was restricted.

The study sets and solves the tasks of studying the historical prerequisites for the creation of CDE, evaluating Russian software products and determining key requirements for CDE with a comparative analysis. The analysis of scientific publications, regulatory documents and materials of software solution manufacturers is carried out. The result of a comparative analysis of five domestic CDE – Pilot-BIM, Project Point, SAREX, SIGNAL and Vitro-CAD was obtained, their strengths and weaknesses in a number of func-

Введение

Современная строительная отрасль переживает этап динамичного развития, во многом обусловленный процессами цифровизации и внедрения инновационных технологий [1–4]. Одним из ключевых инструментов циф-

и слабые стороны по ряду функциональных групп.

Статья подчёркивает различия в подходах к разработке СОД для проектных организаций и заказчиков, что приводит к узкой специализации решений. Тем не менее отмечается необходимость создания унифицированных систем, способных объединять задачи различных категорий пользователей. Сделан вывод о значительном потенциале СОД для повышения эффективности управления проектами и улучшения качества взаимодействия между их участниками на всех стадиях жизненного цикла объекта строительства. Авторы акцентируют внимание на необходимости дальнейшего совершенствования отечественных разработок с целью обеспечения их соответствия современным требованиям и стимулирования развития цифровой инфраструктуры в строительной отрасли.

Ключевые слова: среда общих данных, управление проектами, цифровая трансформация, участники строительного процесса, цифровая информационная модель.

tional groups were identified.

The article highlights the differences in approaches to the development of CDE for design organizations and customers, which leads to a narrow specialization of solutions. Nevertheless, there is a need to create unified systems capable of combining the tasks of different categories of users. The conclusion is made about the significant potential of CDE to increase the efficiency of project management and improve the quality of interaction between their participants at all stages of the life cycle of a construction facility. The authors emphasize the need to further improve domestic developments in order to ensure their compliance with modern requirements and stimulate the development of digital infrastructure in the construction industry.

Keywords: common data environment, project management, digital transformation, participants in the construction process, digital information model.

ровой трансформации здесь выступает концепция среды общих данных (СОД), которая обеспечивает централизованный доступ к актуальной информации [5; 6].

Дополнительным стимулом к внедрению СОД становится Стратегия пространственного развития Российской

менеджерам проекта и другим заинтересованным сторонам возможность оперативно реагировать на возникающие проблемы, экономить ресурсы и корректировать реализацию проекта.

Ещё одним преимуществом использования КРІ является оптимизация технологических процессов. Регулярный анализ данных позволяет выявлять проблемные зоны и использовать узкие места, что обеспечивает эффективность и продуктивность ремонтно-строительных работ.

Несмотря на эффективность разработанной системы КРІ, результаты требуют дополнительных исследований и получения новых данных. Одним из перспективных направлений является разработка цифровых платформ и автоматизированных систем сбора и обработки данных, основанных на современных технологиях искусственного интеллекта и машинного обучения. Это позволит повысить точность анализа, минимизировать влияние человеческого фактора и ускорить процесс принятия решений.

Кроме того, дальнейшие исследования могут быть направлены на совершенствование методики прогнози-

рования рисков при разработке проектов на основе КРІ. Интеграция системы КРІ с моделями предиктивной аналитики поможет заранее выявлять отклонения от нормативных показателей и принимать превентивные меры.

Ещё одним направлением являются исследования по адаптации системы КРІ к различным видам строительных проектов. Разработка специализированных показателей для капитального ремонта, реконструкции или нового строительства позволит создать более точные и релевантные методы оценки эффективности строительных процессов.

Таким образом, предлагаемая система КРІ представляет собой эффективный инструмент управления качеством ремонтно-строительных работ. Однако дальнейшие исследования и разработка интеллектуальных аналитических систем позволят значительно улучшить возможности КРІ, сделать процессы управления более гибкими и адаптируемыми к современным вызовам строительной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chan, A. P. C. Key performance indicators for measuring construction success / A. P. C. Chan, A. P. L. Chan. – DOI 10.1108/14635770410532624 // Benchmarking. – 2004. – Vol. 11, No. 2. – Pp. 203–221.
2. Neely, A. Performance measurement system design: A literature review and research agenda / A. Neely, M. Gregory, K. Platts. – DOI 10.1108/01443570510633639 // International Journal of Operations & Production Management. – 1995. – Vol. 15, Iss. 4. – Pp. 80–116.
3. Key Performance Indicators of Value Management in the Sri Lankan Construction Industry / B. A. K. S. Perera, W. H. S. Madushika, B. J. Ekanayake, G. Q. P. Shen. DOI 10.1080/15623599.2018.1484556 // International Journal of Construction Management. – 2020. – Vol. 20, Iss. 2. – Pp. 157–168.
4. Key Performance Indicators (KPIs) to Promote Building Developers Safety Performance in the Construction Industry / A. S. Mahmoud, M. H. Ahmad, Y. M. Yatim, Y. A. Dodo. – DOI 10.3926/jiem.3099 // Journal of Industrial Engineering and Management. – 2020. – Vol. 13, No. 2. – Pp. 371–401.
5. Toor, S. U. R. Problems causing delays in major construction projects in Thailand / S. U. R. Toor, S. O. Ogunlana. – DOI

10.1080/01446190801905406 // Construction Management and Economics. – 2008. – Vol. 26, Iss. 4. – Pp. 395–408.
6. Developing a List of Key Performance Indictors for Benchmarking the Success of Construction Megaprojects / Q. He, T. Wang, A. P. C. Chan, J. Xu. – DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001957 // Journal of Construction Engineering and Management. – 2021. – Vol. 147, Iss. 2. – Art. 04020164.
7. Smith, N. J. Managing risk in construction projects / N. J. Smith, T. Merna, P. Jobling. – United Kingdom : John Wiley & Sons Inc., 2014.
8. Atkinson, R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria / R. Atkinson. – DOI 10.1016/S0263-7863(98)00069-6 // International Journal of Project Management. – 1999. – Vol. 17, Iss. 6. – Pp. 337–342.
9. Садыкова, Р. Р. Применение системы КРІ для мотивации и оценки сотрудников / Р. Р. Садыкова, А. А. Галимова // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 8 (73). – С. 1010–1013.
10. Чепсина, А. В. Генерация КРІ как основа программно-целевого метода в системе стейкхолдер-менеджмента / А. О. В. Чепсина // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 3 (56). – С. 595–597.

REFERENCES

1. Chan, A. P. C. Key performance indicators for measuring construction success / A. P. C. Chan, A. P. L. Chan. – DOI 10.1108/14635770410532624 // Benchmarking. – 2004. – Vol. 11, No. 2. – Pp. 203–221.
2. Neely, A. Performance measurement system design: A literature review and research agenda / A. Neely, M. Gregory, K. Platts. – DOI 10.1108/01443570510633639 // International Journal of Operations & Production Management. – 1995. – Vol. 15, Iss. 4. – Pp. 80–116.
3. Key Performance Indicators of Value Management in the Sri Lankan Construction Industry / B. A. K. S. Perera, W. H. S. Madushika, B. J. Ekanayake, G. Q. P. Shen. DOI 10.1080/15623599.2018.1484556 // International Journal of Construction Management. – 2020. – Vol. 20, Iss. 2. – Pp. 157–168.
4. Key Performance Indicators (KPIs) to Promote Building Developers Safety Performance in the Construction Industry / A. S. Mahmoud, M. H. Ahmad, Y. M. Yatim, Y. A. Dodo. – DOI 10.3926/jiem.3099 // Journal of Industrial Engineering and Management. – 2020. – Vol. 13, No. 2. – Pp. 371–401.

5. Toor, S. U. R. Problems causing delays in major construction projects in Thailand / S. U. R. Toor, S. O. Ogunlana. – DOI 10.1080/01446190801905406 // Construction Management and Economics. – 2008. – Vol. 26, Iss. 4. – Pp. 395–408.
6. Developing a List of Key Performance Indictors for Benchmarking the Success of Construction Megaprojects / Q. He, T. Wang, A. P. C. Chan, J. Xu. – DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001957 // Journal of Construction Engineering and Management. – 2021. – Vol. 147, Iss. 2. – Art. 04020164.
7. Smith, N. J. Managing risk in construction projects / N. J. Smith, T. Merna, P. Jobling. – United Kingdom : John Wiley & Sons Inc., 2014.
9. Atkinson, R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria / R. Atkinson. – DOI 10.1016/S0263-7863(98)00069-6 // International Journal of Project Management. – 1999. – Vol. 17, Iss. 6. – Pp. 337–342.
10. Sadykova, R. R. Primenenie sistemy KPI dlya motivatsii i otsenki sotrudnikov [Application of the KPI system for employee motivation and evaluation] / R. R. Sadykova, A. A. Galimova // *Ehkonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepre-

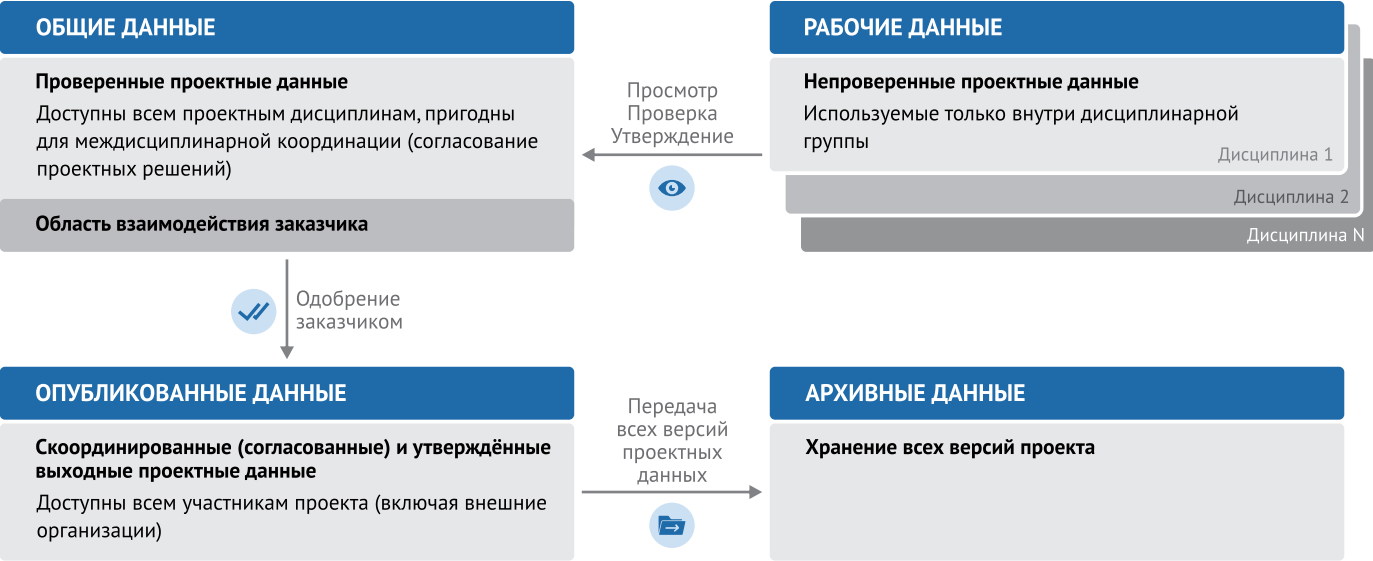


Рис. 1. Структура среды общих данных (СОД)
Fig. 1. The structure of the common data environment (CDE)

Федерации (утверждена распоряжением Правительства РФ от 28.12.2024 № 4146-р), где среди приоритетных направлений названы жилищное строительство, научно-технологическое развитие и цифровая инфраструктура. В частности, документ предусматривает использование единой цифровой платформы «Национальная система пространственных данных», что способствует дальнейшей интеграции СОД в инвестиционно-строительные проекты. Структура среды общих данных представлена на рисунке 1.

Актуальность темы исследования обусловлена нарастающей сложностью инвестиционно-строительных проектов и необходимостью эффективного взаимодействия между лицами, участвующими в их реализации. Традиционные подходы к управлению документацией и данными часто приводят к дублированию информации, рискам потери или искажения данных, что отрицательно сказывается на сроках и бюджете строительства. Напротив, использование СОД позволяет объединить все необходимые документы и данные в едином информационном пространстве, обеспечивая непрерывное сопровождение на всех этапах реализации инвестиционно-строительного проекта [7; 8].

Ещё одним фактором, усиливающим значимость исследования, является изменяющаяся ситуация на рынке программного обеспечения. Ограничения на использование зарубежных продуктов в ряде случаев делают их дальнейшее применение затруднительным или невозможным, что стимулирует развитие отечественных СОД-решений. При этом конкуренция между российскими разработчиками обостряется, что требует от них не только разработки передовых технологических возможностей (интеграции с системами автоматизированного проектирования (САПР), web-интерфейсами и т. д.), но и более гибкого и эффективного подхода к удовлетворению потребностей различных категорий пользователей – проектировщиков, подрядчиков, застройщиков и заказчиков. Таким образом, изучение вопросов выбора, внедрения и развития СОД в контексте современных требований становится насущной задачей для участников строительной отрасли.

В рамках исследования сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать исторические предпосылки и эволюцию создания СОД в строительной отрасли;
2. Оценить состояние российских программных продуктов СОД;
3. Определить основные требования к СОД и её функциям. Выполнить сравнительный анализ конкретных отечественных программных продуктов на предмет реализации этих требований и функций.

Материалы и методы

В ходе исследования использовался комплексный подход, включающий результаты проведённого анализа научных статей, нормативно-правовых и нормативно-технических документов, а также открытых официальных материалов разработчиков программных решений, таких как презентации новых продуктов, руководства пользователей, записи вебинаров для пользователей о работе ПО.

Исторические предпосылки для формирования среды общих данных возникли с появлением PLM- и PDM-систем машиностроительной отрасли (Product Life Cycle Management и Product Data Management), которые в начале 2000-х годов стали постепенно внедряться в строительную сферу. В этот период системы, аналогичные PDM, стали именоваться «системами проектного документооборота», а после выхода британского стандарта BS1192-2007 они получили более актуальное название – Common Data Environment (CDE), что в переводе означает «среда общих данных» (СОД) [9; 10].

На российском рынке систем организации СОД к 2021 году лидером стала система «BIM 360» зарубежного разработчика Autodesk, основное преимущество которой – низкий порог «вхождения» (вовлечение нового пользователя) и внедрения, а также закрытие основных задач СОД этапа проектирования и строительства. Основой для лидерства послужила мощная точка контакта с пользователями благодаря наличию в портфеле самых популярных систем автоматизированного проектирования (САПР) в России, закрывающих основные разделы проектирования. Однако со второй половины 2022 года разработчик СОД Autodesk систематически вводил огра-

№ пп.	Функции	Pilot-BIM	Project Point	SAREX	SIGNAL	Vitro-CAD
ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ И УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПОМ						
1	Кроссплатформенность: web-версия, десктопное и мобильное приложение	1	1	0.5	0.5	1
2	Управление файлами: добавление, сохранение и удаление данных	1	1	1	1	1
3	Публикация ссылок для передачи данных неавторизованным пользователям	0	0	1	1	1
4	Совместное использование файлов между авторизованными пользователями	1	1	1	1	1
5	Конфигурация прав доступа: установка паролей, сроков действия, ограничений на скачивание	1	0.5	0.5	0.5	0.5
Итого по группе:		4	3.5	4	4	4.5
ПРОСМОТР, СОЗДАНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ ФАЙЛОВ						
6	Документы в формате .docx и .txt	1	1	1	1	1
7	Табличные файлы в формате .xlsx	1	1	1	1	1
8	Презентации в формате .pptx	1	0	0	1	1
9	Документы в формате .pdf	1	1	1	1	1
10	Графические файлы, аудио- и видеофайлы	0.5	0.5	0	0.5	0.5
Итого по группе:		4.5	3.5	3	4.5	4.5
АДМИНИСТРИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ДОКУМЕНТООБОРОТОМ						
11	Создание пользовательской структуры хранения файлов	1	1	1	1	1
12	Фиксация истории изменений в облачном сервисе	1	1	1	1	1
13	Единоразовая загрузка большого объёма данных	1	1	1	1	1
14	Работа с архивами данных (RAR, ZIP)	0	0	0	0	0
15	Интеграция сторонних контрагентов в систему компании	1	1	0	0.5	1
16	Управление правами доступа к компонентам проекта	1	1	1	1	1
17	Назначение ответственных лиц за редактирование документов в системе	1	1	1	1	1
18	Механизм согласования документов	0.5	0.5	1	1	1
19	Поддержка электронных подписей и штампов	1	1	1	1	1
20	Автоматическая разметка загружаемых документов	0.5	0	0	0	0
21	Формирование списка загруженных файлов в автоматическом режиме	1	1	0.5	0	0
22	Поддержка версионности документов	1	1	1	1	1
23	Сравнение изменений между версиями документа	1	0.5	1	1	1
24	Добавление комментариев и замечаний в документы	1	1	1	1	1
25	Мониторинг текущего статуса работы с документами	1	0.5	1	0.5	0.5
26	Расширенная работа с исполнительной документацией	0	0	0	0.5	0.5
27	Расширенный поиск по названию файла и атрибутам	1	0.5	1	0.5	0
28	Создание финансовых дашбордов и графиков реализации проекта	0	0	1	1	1
29	Отображение реального хода выполнения работ	0	0	1	1	0.5
Итого по группе:		14	12	14.5	14	13.5
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ФАЙЛАМИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ФОРМАТОВ САПР						
30	Работа с векторными чертежами формата DWG	1	0	1	1	1
31	Использование XML-схем для исполнительной документации	0	0	0	0	0
32	Шаблоны документов с возможностью настройки для автоматического формирования готовых файлов	1	0.5	0	0	0.5
33	Установление связей между данными ЦИМ и текстовыми базами (спецификации, ведомости и др.)	1	0	1	0.5	0.5
34	Автоматизированная выгрузка данных в СОД из сторонних приложений через API	1	0.5	0.5	0.5	0
35	Интеграция с реестром требований Минстроя через API для проверки соответствия документации	0	0	0	0	0
36	Расширенный поиск по названию, атрибутам и содержанию файлов	0	0	0	0	0
Итого по группе:		4	1	2.5	2	2
ИНТЕГРАЦИЯ И АНАЛИЗ ДАННЫХ ИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ						
37	Файл цифровой информационной модели: .RVT	0	0	1	1	1
38	Файл цифровой информационной модели: .RNP	0.5	1	0	0	0.5
39	Файл цифровой информационной модели: .RNT	0	1	0	0	0
40	Файл цифровой информационной модели: .IFC	1	1	1	1	1
41	Файл облака точек: .e57, .LAS, .RCP	1	0	1	0.5	0
42	Сравнение и отслеживание изменений между версиями геометрических данных в автоматическом режиме	1	1	1	1	0.5
43	Создание пространственных связей между атрибутами, названиями и данными внутри геометрических моделей и текстовых баз данных	0.5	1	0.5	0.5	0.5
44	Автоматизация отчётности по ходу выполнения проекта, включая сроки и финансы, с визуализацией на геометрической модели	0	0	0.5	1	0
45	Экспорт данных в ИСУП в автоматизированном режиме	0	0	0	0	0
Итого по группе:		4	5	5	5	3.5
ИТОГО:		30.5	25	29	29.5	28

Табл. 1. Сравнительный анализ программных решений СОД
Tab. 1. Comparative analysis of software solutions CDE

ничения на использование своих решений на территории Российской Федерации. В связи с этим активно растёт спрос на российские системы организации СОД.

По данным единого реестра российского программного обеспечения (ЕРПО), для строительной отрасли на сегодняшний день насчитывается более 20 решений СОД, которые предоставляют возможность интеграции с САПР-системами для выпуска готовой документации, а также имеют набор инструментов для взаимодействия участников инвестиционно-строительного процесса. Некоторые программные решения СОД из ЕРПО представлены ниже:

1. CADLib (АО «СиСофт Девелопмент»), № 847 от 20.05.2016.
2. NS Project (ООО «Нанософт разработка»), № 13964 от 14.06.2022.
3. Pilot-BIM (ООО «АСКОН»), № 7691 от 14.12.2020.
4. Project Point (ООО «Проджект Поинт»), № 16387 от 30.01.2023.
5. SAREX (ООО «Сарекс»), № 15322 от 25.10.2022.
6. SIGNAL (ООО «Сигнал Формат»), № 23537 от 12.08.2024.
7. Tangl Control (ООО «БИМ-КЛАСТЕР»), № 11530 от 20.09.2021.
8. Vitro-CAD (ООО «Витро Софт»), № 966 от 20.05.2016.
9. ИНГИПРО (ООО «ИНГИПРО»), № 5114 от 10.01.2019.
10. Цифровой Контроль Строительства (АО «ДОМ.РФ»), № 19045 от 18.09.2023.

Для выполнения задачи исследования, заключающейся в определении основных требований к СОД и её функциям и проведении сравнительного анализа, были отобраны следующие отечественные программные продукты: Pilot-BIM, Project Point, SAREX, SIGNAL и Vitro-CAD. Отобранные продукты являются одними из наиболее известных и широко используемых решений на российском рынке. Они активно применяются крупными застройщиками и проектными организациями. Также отобранные решения

имеют широко представленные открытые источники информации, такие как официальные сайты разработчиков, руководства пользователей, презентации и записи вебинаров. Это позволило провести детальный анализ их возможностей. В рамках сравнительного анализа СОД была проведена их оценка по нескольким группам функций. К таким группам, в частности, относятся: «обмен информацией и управление доступом», «просмотр, создание и редактирование файлов», «администрирование и управление документооборотом», «взаимодействие с файлами специализированных форматов САПР» и «интеграция и анализ данных из геометрических моделей». Каждая из этих групп включает в себя набор взаимосвязанных критериев, позволяющих оценить функциональную полноту решений.

В совокупности перечисленные функции и критерии отвечают потребностям различных категорий пользователей СОД – проектировщиков, подрядчиков, застройщиков и заказчиков. Таким образом, сравнительный анализ отечественных СОД-продуктов по этим группам позволяет выявить их наиболее сильные и слабые стороны.

Результаты

Для оценки отечественных решений СОД был проведён сравнительный анализ, включающий группировку функций по основным направлениям, таким как управление доступом, взаимодействие с данными, интеграция с САПР и другие. Итоговые результаты, отражающие функциональную полноту программных решений, представлены в таблице 1.

1. Pilot-BIM

ООО «АСКОН» — одна из ведущих компаний в области российских цифровых решений, обладающая обширным опытом и масштабной системой партнёров. Среди заказчиков компании – ПАО «Газпром», ПАО «НК Роснефть», АО «ЦПТИ». Платформа Pilot-BIM работает в локальной версии на серверах заказчика (OnPremise). Структура предложения СОД представлена на рисунке 2.

Среди преимуществ стоит отметить полную независимость от зарубежных технологий, которая достигается

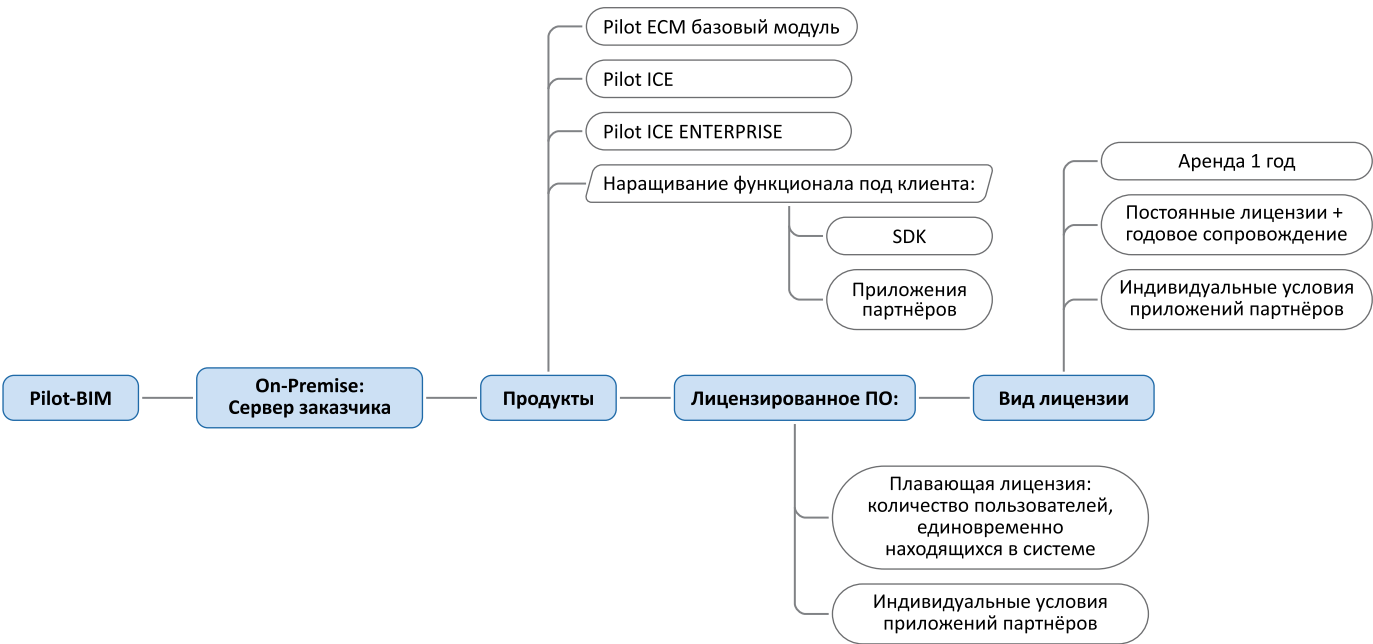


Рис. 2. Структура предложения СОД Pilot-BIM
Fig. 2. The structure CDE of the Pilot-BIM proposal

благодаря собственной разработке – геометрическому ядру CD3 Viewer. Также наличие развитого API позволяет пользователям самостоятельно создавать дополнительные модули и расширять функциональность системы. Решение позволяет устанавливать связи между цифровой информационной моделью (ЦИМ) и различными типами документов, включая таблицы и акты, фиксирующие выполнение работ.

Среди недостатков можно отметить ограниченные возможности анализа и визуализации больших данных. В частности, система нуждается в доработке функций создания финансовых дашбордов и графиков реализации проекта, а также автоматизации отчётности по ходу выполнения проекта с визуализацией на геометрической модели.

2. Project Point

ООО «Проджект Поинт» основано в 2013 году и с 2023 года частично принадлежит фирме «1С». Решение сфокусировано на задачах проектных офисов крупных предприятий, таких как ООО «ЕВРАЗ», ПАО «Северсталь», ООО «ИНКО-ТЭК». Project Point предлагает вариативность в развёртывании системы как на серверах заказчика (OnPremise), так и в облачном пространстве (SaaS). Структура предложения СОД представлена на рисунке 3.

Сильной стороной СОД является настроенная интеграция с различными отечественными программными комплексами, включая «1С», «ГРАНД-Смета» и продукты от ГК «АСКОН». Это значительно упрощает работу пользователей данных платформ и обеспечивает их бесшовное взаимодействие. Дополнительное преимущество Project

Point заключается в возможности работы с проприетарными форматами отечественных САПР, таких как RNP (Renga) и DWG (NanoCAD).

Слабой стороной СОД является отсутствие поддержки работы с файлами облаков точек (e57, LAS, RCP), что ограничивает возможности системы в проектах, связанных с обработкой и визуализацией геопространственных данных. Также стоит отметить отсутствие функционала для создания графиков реализации проекта, что могло бы значительно повысить аналитический потенциал системы. Кроме того, определённая закрытость компании, выражающаяся в недостатке информации о продукте в открытых источниках и ограниченном демонстрировании системы на конкретных практических примерах, снижает прозрачность решения для потенциальных пользователей.

3. SAREX

ООО «Сарекс» основано в 2018 году и с тех пор активно развивает свои решения, нацеленные в первую очередь на девелоперов, таких как АО «МР ГРУПП», ООО «ГК ТОЧНО», ООО «Галс-Девелопмент». Основная модель работы СОД – облачное пространство (SaaS), что делает систему удобной для быстрого развёртывания и использования. Однако её можно использовать и локально на сервере заказчика (OnPremise). Структура предложения СОД представлена на рисунке 4.

Среда общих данных обладает рядом преимуществ, которые выделяют её среди аналогичных решений. Работа платформы строится на объёме загружаемых в неё данных, поэтому количество сотрудников, проектов и доку-

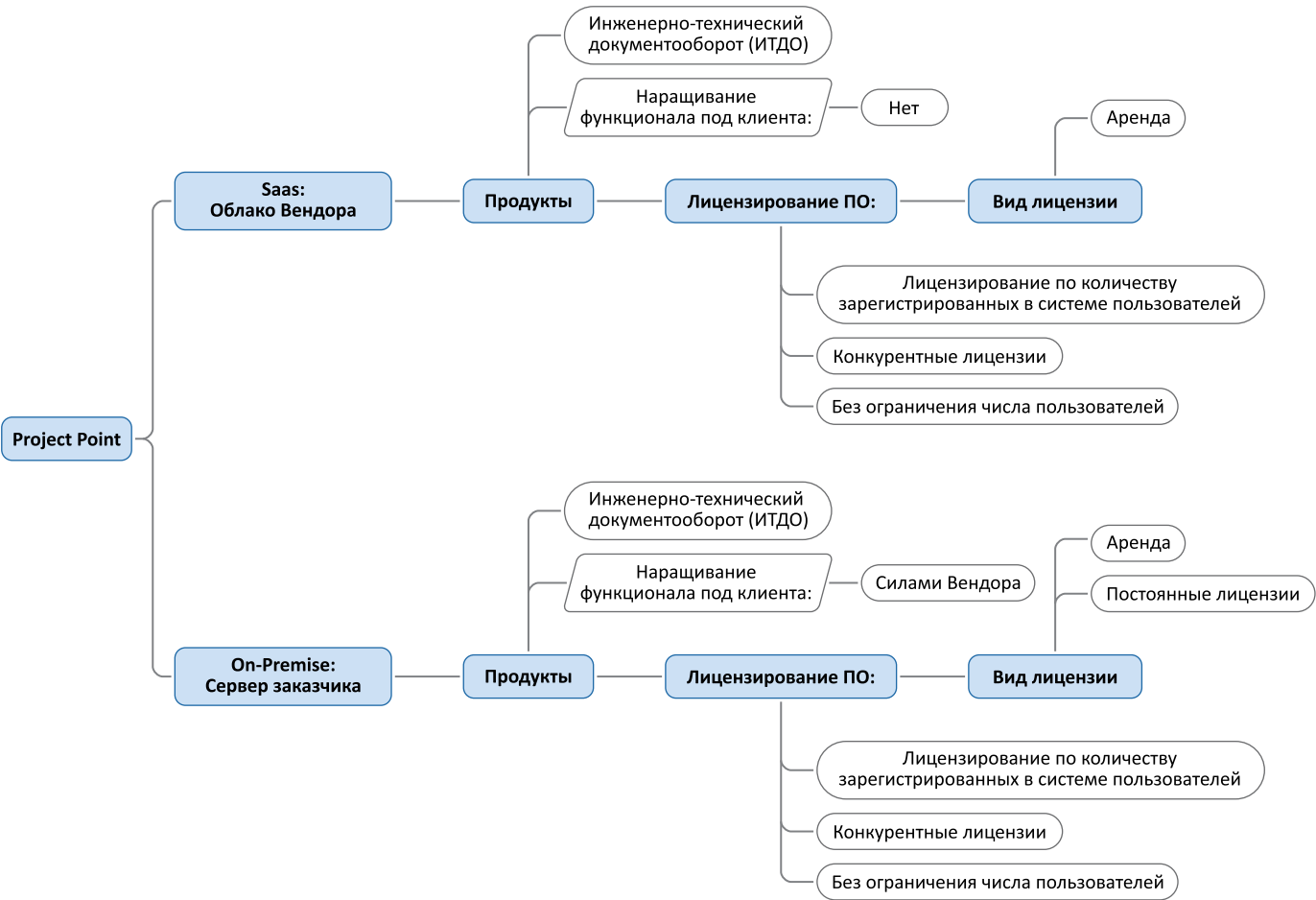


Рис. 3. Структура предложения СОД Project Point
Fig. 3. The structure CDE of the Project Point proposal

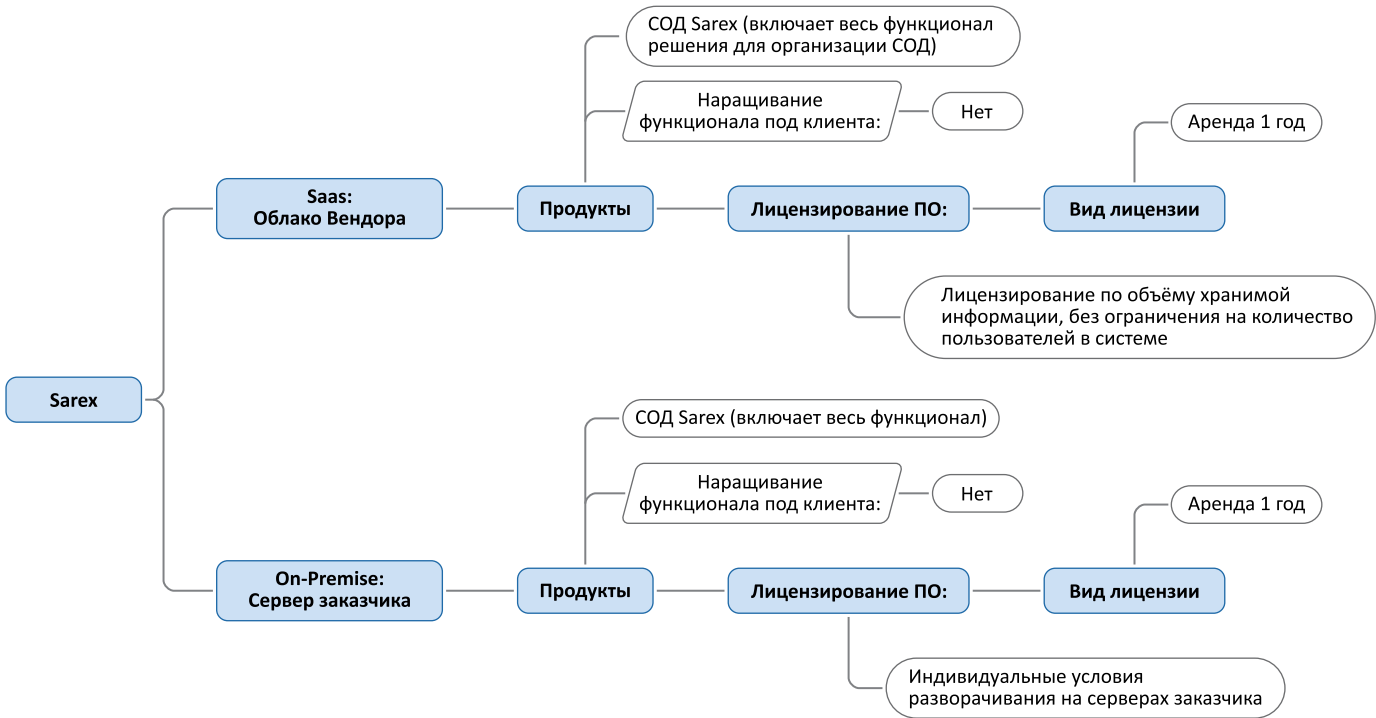


Рис. 4. Структура предложения СОД SAREX
Fig. 4. The structure CDE of the SAREX proposal

ментов может быть любым. СОД поддерживает работу с ЦИМ, включая облака точек, предоставляя инструменты для сравнения версий и анализа изменений в модели. Дополнительно реализована возможность связки документов с элементами ЦИМ, что упрощает управление данными. Также предусмотрен механизм гибкого согласования документов и их версий между различными участниками проекта.

Среда общих данных имеет ряд недостатков, которые могут затруднить её использование. Одним из ограничений является отсутствие поддержки просмотра фотографий, видео- и аудиофайлов, что является существенным недостатком, особенно на этапе строительства, где такого рода материалы регулярно появляются, например, в процессе фиксации дефектов или видеонаблюдения за соблюдением техники безопасности. При отсутствии возможности открытия этих файлов в системе их придётся скачивать, что становится неудобным, особенно при слабом интернет-соединении. Дополнительно стоит

отметить отсутствие функционала для ведения общих и специальных журналов работ, а также формирования актов выполненных работ непосредственно в системе, что ограничивает возможность полноценно работать с исполнительной документацией.

4. SIGNAL

ООО «Сигнал Формат» было основано в 2019 году и является разработчиком среды общих данных «SIGNAL». Решение позиционируется как альтернатива Autodesk «BIM 360», ушедшего с российского рынка. Пользователями данной платформы являются крупные застройщики, такие как ГК «Sminex», ГК «Pioneer», ООО «Главстрой». Структура предложения СОД представлена на рисунке 5.

Среди сильных сторон СОД стоит отметить простоту её использования и администрирования, что особенно важно для пользователей, ранее работавших с зарубежными программными решениями, такими как «BIM 360», логика работы с данными в этих системах схожа и привычна.

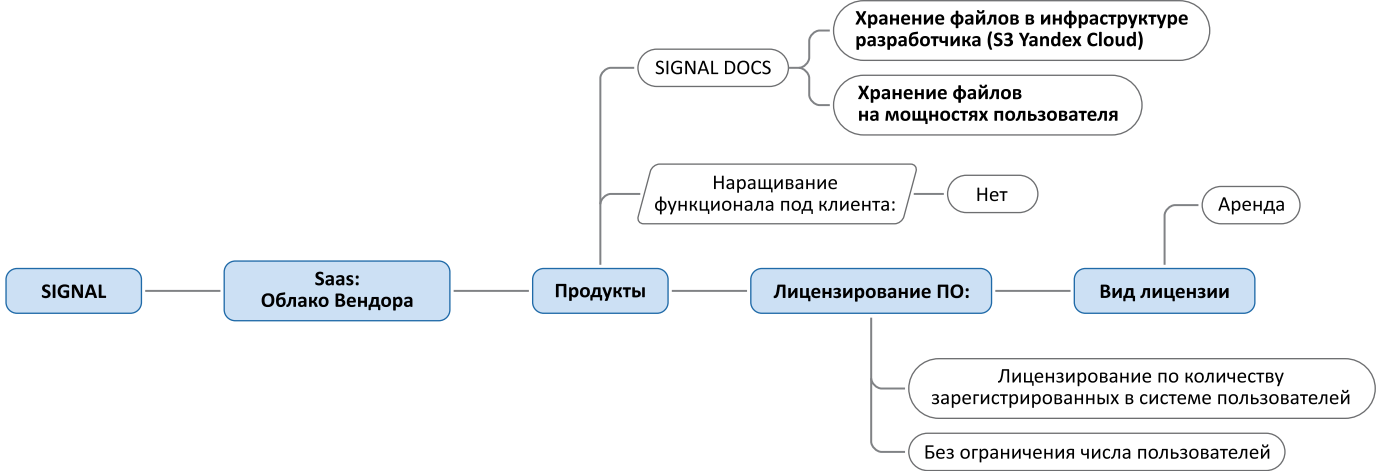


Рис. 5. Структура предложения СОД SIGNAL
Fig. 5. The structure CDE of the SIGNAL proposal

Кроме того, важным достоинством является настраиваемый документооборот в соответствии с теми процессами, которые в своей деятельности применяет заказчик. Платформа обеспечивает централизованное хранение информации с настраиваемой файловой структурой, включая иерархию папок и их перенос между проектами. Также система поддерживает автоматизацию отчётности по ходу выполнения проекта, включая управление сроками и финансами, с возможностью визуализации этих данных на геометрической модели проекта.

Среди слабых сторон СОД можно выделить зависимость от просмотрщика «Forge Viewer», работающего через API Autodesk Model Derivative, для отображения ЦИМ. Поскольку Forge Viewer является продуктом Autodesk, его доступность и условия использования зависят от политики этой компании. В случае изменения или прекращения предоставления услуг Forge Viewer (например, из-за санкций, изменений в лицензионной политике или технических ограничений) СОД SIGNAL может потерять ключевую функциональность, связанную с визуализацией ЦИМ. Это приведёт к необходимости поиска альтер-

нативных решений, что может потребовать значительных временных и финансовых затрат. Для минимизации этих рисков разработчикам СОД SIGNAL рекомендуется рассмотреть возможность интеграции альтернативных отечественных решений или разработки собственного просмотрщика, что позволит снизить зависимость от сторонних технологий и повысить устойчивость системы в долгосрочной перспективе.

5. Vitro-CAD

ООО «Витрософт», основанное в 2014 году, предлагает решения для крупных организаций, таких как ГК «ПИК», ООО «А101 Девелопмент», ООО «Донстрой». Среда общих данных используется в масштабных проектах с большим числом пользователей, которое может достигать 2000 человек одновременно. Решение предлагается в двух вариантах: с установкой на серверы заказчика (OnPremise) и облачное решение (SaaS), развёрнутое на российских серверах. Структура предложения СОД представлена на рисунке 6.

К сильным сторонам СОД можно отнести высокую производительность при большом количестве пользо-

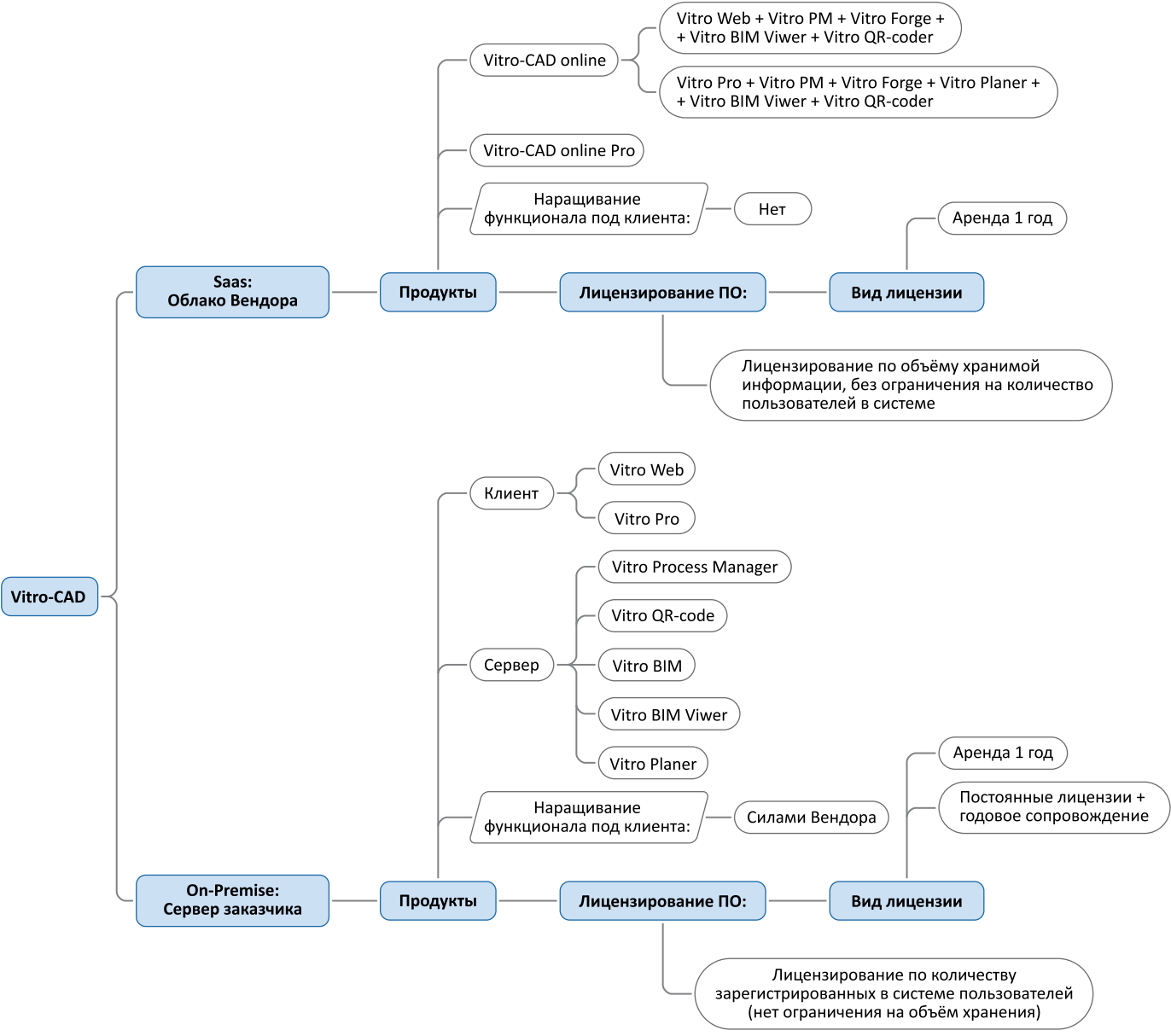


Рис. 6. Структура предложения СОД Vitro-CAD
Fig. 6. The structure CDE of the Vitro-CAD proposal

вателей, работающих одновременно, а также широкую интеграцию с отечественными и зарубежными САПР, включая Renga, NanoCAD, Топоматик Robur, Компас 3D, Navisworks, Revit и AutoCAD. Также СОД поддерживает электронную цифровую подпись (ЭЦП) и функцию сканирования QR-кодов, что позволяет автоматизировать процесс согласования документов.

Среди слабых сторон СОД можно отметить отсутствие функциональных возможностей для работы с облаками точек. Этот функционал играет важную роль в проектах, где требуется интеграция данных лазерного сканирования и их сопоставления с проектными решениями. Отсутствие полноценной поддержки облаков точек вынуждает заказчиков использовать дополнительные программные решения для обработки и анализа данных лазерного сканирования. Это приводит к увеличению затрат на лицензирование стороннего ПО и обучение персонала. В условиях современного строительного рынка, где цифровизация становится одним из ключевых факторов успеха, отсутствие поддержки облаков точек снижает конкурентоспособность Vitro-CAD. Это может привести к снижению интереса к платформе со стороны застройщиков. Для устранения этого недостатка разработчикам Vitro-CAD рекомендуется рассмотреть возможность интеграции функционала для работы с облаками точек, что позволит повысить конкурентоспособность платформы и её привлекательность для заказчиков, которым требуется данный функционал.

Обсуждение

В ходе проведённого исследования было выявлено, что российские разработчики СОД имеют разные подходы к развитию своих продуктов, исходя из приоритетов различных целевых аудиторий. Некоторые компании изначально фокусировались на функциональности, ориентированной на проектные организации, обеспечивая глубокую интеграцию с системами САПР и работу с ЦИМ. Такие решения позволяют эффективно связывать и извлекать данные из ЦИМ, что существенно облегчает процессы проектирования и повышает точность выполнения инженерных задач. В то же время другие разработчики сосредоточились на потребностях заказчиков, предостав-

ляя инструменты для взаимодействия между лицами, участвующими в реализации инвестиционно-строительных проектов, а также для хранения, редактирования и согласования различных типов документов (ИРД, ПД, РД, ИД). Этот подход упрощает процессы управления проектами, что особенно важно для заказчиков, не имеющих большой необходимости в глубокой интеграции с САПР.

Несмотря на различия в начальных направлениях развития СОД, разработчикам необходимо интегрировать функциональные возможности, подходящие как для проектных организаций, так и для заказчиков. Это требует значительных затрат материально-технических и трудовых ресурсов, однако такой комплексный подход позволит создать более качественные и универсальные программные решения. Таким образом, объединение функциональных возможностей для различных категорий пользователей является ключевым фактором успеха в развитии сред общих данных.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило актуальность и необходимость использования среды общих данных (СОД) в строительной отрасли для повышения эффективности управления инвестиционно-строительными проектами на всех стадиях жизненного цикла объекта строительства. Российские разработчики успешно адаптируются к текущим вызовам, связанным с ограничением доступа к зарубежным ИТ-решениям, создавая конкурентоспособные продукты, которые учитывают современные требования пользователей.

В рамках исследования были проанализированы исторические предпосылки и эволюция создания СОД в строительной отрасли, а также оценено состояние российских программных продуктов СОД. Проведённый сравнительный анализ отечественных сред общих данных, таких как Pilot-BIM, Project Point, SAREX, SIGNAL и Vitro-CAD, позволил выявить их сильные и слабые стороны, а также определить ключевые требования и функциональные возможности, необходимые для работы лиц, принимающих участие в реализации инвестиционно-строительных проектов.

формационных моделей в рамках управления строительством / А. В. Алексанин, Я. В. Жаров. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55 // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 1. – С. 52–55.

- Лосев, К. Ю. Подход к информационной поддержке среды общих проектных данных в жизненном цикле объекта капитального строительства / К. Ю. Лосев // Вестник Евразийской науки. – 2018. – Т. 10, № 6. – С. 65.
- Ахметов, Д. Р. Среда общих данных: практическая польза при реализации строительных объектов / Д. Р. Ахметов, Н. Л. Бреус, Т. Т. Мансуров // Вестник Евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 3. – URL: <https://esj.today/PDF/35SAVN322.pdf>.
- Волков, С. А. Единое информационное пространство как развитие среды общих данных. Часть 1. История развития среды общих данных / С. А. Волков, Т. Д. Шарафутдинов // Информационное моделирование. – 2024. – № 1. – С. 36–41.
- Пронин, В. И. Трактовка понятий «технологии информационного моделирования» (ТИМ) и «среда общих данных» (СОД) / В. И. Пронин, Д. В. Медведев // Человек. Общество. Инклюзия (Приложение). – 2023. – № S1-1. – С. 98–103.

REFERENCES

- Gorbova, I. N. Tsifrovaya transformatsiya stroitel'noj otrasli Rossii [Digital transformation of the Russian construction industry] / I. N. Gorbova, R. R. Avanesova, M. M. Musaev // Vestnik Akademii znaniy [Bulletin of the Academy of Knowledge]. – 2023. – No. 2 (55). – Pp. 46–51.
- Travush, V. I. Tsifrovye tekhnologii v stroitel'stve [Digital technologies in construction] / V. I. Travush. – DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117 // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and construction]. – 2018. – No. 3. – Pp. 107–117.
- Voskovykh, K. A. Osobennosti tsifrovizatsii v stroitel'noj otrasli kak vazhnyy faktor eyo ustojchivogo razvitiya [Features of digitalization in the construction industry as an important factor of its sustainable development] / K. A. Voskovykh. – DOI 10.33619/2414-2948/73/23 // Byulleten' nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]. – 2021. – Vol. 7, No. 12. – Pp. 169–174.
- Abramov, I. L. Issledovanie primeneniya tsifrovyykh tekhnologij v stroitel'stve [Research on the use of digital technologies in construction] / I. L. Abramov, A. A. Martyanova, E. P. Manayenkova // Perspektivy nauki [Prospects of science]. – 2022. – No. 12 (159). – Pp. 72–75.
- Savenko, A. I. Sreda obshhikh dannykh pri realizatsii stroitel'nykh ob'ektov s primeneniem BIM [A common data environment for the implementation of construction projects using BIM] / A. I. Savenko, P. V. Cherenkov. – DOI 10.17273/CADGIS.2019.2.1 // SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog [CAD and GIS of highways]. – 2019. – No. 2 (13). – Pp. 4–11.
- Aleksanin, A. V. Potentsial ispol'zovaniya tsifrovyykh informatsionnykh modelej v ramkakh upravleniya stroitel'stvom

[The potential of using digital information models in construction management] / A. V. Aleksanin, Ya. V. Zharov. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55 // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2022. – No. 1. – Pp. 52–55.

- Losev, K. Yu. Podkhod k informatsionnoj podderzhke sredy obshhikh proektnykh dannykh v zhiznennom tsikle ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva [An approach to information support of the common data environment in the life cycle of a capital construction facility] / K. Yu. Losev // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2018. – Vol. 10, No. 6. – P. 65.
- Akhmetov, D. R. Sreda obshhikh dannykh: prakticheskaya pol'za pri realizatsii stroitel'nykh ob'ektov [Common data environment: practical benefits in the implementation of construction projects] / D. R. Akhmetov, N. L. Breus, T. T. Mansurov // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2022. – Vol. 14, No. 3. – URL: <https://esj.today/PDF/35SAVN322.pdf>.
- Volkov, S. A. Edinoe informatsionnoe prostranstvo kak razvitiye sredy obshhikh dannykh. Chast' 1. Istoriya razvitiya sredy obshhikh dannykh [Unified information space as a development of the common data environment. Part 1. History of the common data environment] / S. A. Volkov, T. D. Sharafutdinov // Informatsionnoe modelirovanie [Information modeling]. – 2024. – No. 1. – Pp. 36–41.
- Pronin, V. I. Traktovka ponyatij «tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya» (TIM) i «sreda obshhikh dannykh» (SOD) [Interpretation of the concepts of "information modeling technologies" (TIM) and "common data environment" (CDE)] / V. I. Pronin, D. V. Medvedev // Chelovek. Obshestvo. Inkluziya (Prilozhenie) [Human. Society. Inclusion (Application)]. – 2023. – No. S1-1. – Pp. 98–103.

УДК 624.15

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_55

Риски несоблюдения критериев системы обеспечения качества проектных работ в строительстве

Risks of Non-compliance with the Criteria of the Quality Assurance System for Design Work in Construction

Самарин Александр Юрьевич

Генеральный директор ООО «АПРИОРИ-строй», Россия, 454091, Челябинск, улица Российская, 224, mon787@ya.ru

Samarin Alexander Yurievich

General Director of Apriori-Stroy LLC, Russia, 454091, Chelyabinsk, ulitsa Rossijskaya, 224, mon787@ya.ru

Байбурин Альберт Халитович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное производство и теория сооружений», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (ЮУрГУ), Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76, abayburin@mail.ru

Baiburin Albert Khalitovich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, South Ural State University (SUSU), Russia, 454080, Chelyabinsk, prospekt Lenina, 76, abayburin@mail.ru

Аннотация. Риски, возникающие на этапе разработки проектной документации, ведут к негативному эффекту в области обеспечения безопасности и надёжности, затраты на устранение их последствий приводят к существенным издержкам строительства и эксплуатации и сопутствующим убыткам.

Цель исследования – разработка критериев системы качества проектных организаций на основании модульного подхода и оценка рисков их несоблюдения. Объект исследования – система обеспечения качества проектных работ в строительстве.

Актуальность исследования обусловлена статистикой дефектности проектной документации, приводящей к значительным ущербам. Предлагаемый метод декомпозиции элементов системы качества обуславливает разработку критериев с учётом особенностей организационного процесса проектных работ. Метод основан на анализе видов, последствий и кри-

тичности отказов (FEMA), заключающийся в определении величины приоритетного риска путём перемножения балльных показателей величин тяжести, вероятности обнаружения и возникновения ошибки. Анализ сведений о дефектах проектной документации послужил основой для формирования подходов к оценке рисков. В процессе исследования разработаны критерии системы обеспечения качества проектных работ, а также определены значимости рисков их несоблюдения по степени приоритета применения корректирующих воздействий. Произведена оценка уровня критериев системы качества проектных организаций и связанных с ними рисков. Метод обосновывает комплексную оценку показателей системы качества организации с учётом рисков и разработку корректирующих мероприятий с целью повышения качества проектов.

Результаты исследования предлагают математическую мо-

дель оценки рисков на основе модульного подхода и разработанных критериев качества.

Ключевые слова: строительное проектирование; управле-

Abstract. The risks that arise at the stage of project documentation development lead to a negative effect in the field of safety and reliability, the costs of eliminating their consequences lead to significant construction and operation costs and associated losses.

The purpose of the study is to develop criteria for the quality system of design organizations based on a modular approach and assess the risks of non-compliance. The object of research is a quality assurance system for design work in construction.

The relevance of the study is determined by the statistics of defective design documentation, which leads to significant damage. The proposed method of decomposition of the elements of the quality system determines the development of criteria, taking into account the specifics of the organizational process of design work. The method is based on an analysis of the types, consequences and criticality of failures (FEMA), which consists in determining the magnitude of the priority risk by multiplying the severity scores, the probability of detection and occurrence

Введение

Развитие цифровизации в отрасли строительства, многофакторность условий выбора технических решений и материалов проекта и возрастающие требования к обеспечению безопасности и надёжности зданий требуют тщательного подхода к оценкам рисков проектной деятельности. Дефекты проектирования, реализуя эффект негативных рисков, приводят к серьёзным последствиям при возведении и эксплуатации здания, что подтверждено исследованиями и статистическими данными [1–3]. Согласно исследованию Европейского комитета по стандартизации (CEN), около 20 % аварий в строительстве связаны с недостаточным качеством проектных решений [4].

Аналогичные исследования на территории Российской Федерации приводят данное значение в диапазоне от 10 до 35 % [5]. Верификации ошибок проектирования служат отложенные процессы внутреннего контроля, независимой экспертизы и входного контроля на этапах возведения объекта, тем не менее на основании анализа при проведении экспертизы проектной документации лишь 10 % объектов не имели замечаний, а наиболее часто локализация дефектов относилась к вопросам конструирования (15 %), расчётной части (23 %) и оформления чертежей (24 %) [6]. Выявленные на этапе строительства дефекты, как правило, приводят к необходимости повторной переработки проектных решений и росту затрат на устранение ошибок в процессе использования объекта.

Подходы к определению рисков и критериев качества проектных организаций в Российской Федерации базируются на общепринятых подходах стандартов серии ISO и отражены в требованиях нормативно-технической документации и федерального законодательства в области безопасности, надёжности и долговечности строительных объектов [7–9] с выделением главенствующей роли независимой экспертизы как организации, определяющей их соответствие требованиям регламентов и исходных данных. Рассматривая методологические подходы государственных регуляторов, стоит отметить отсутствие на этапах контроля единой системы качественных показателей и учёта рисков, позволяющей количественно и качественно оценивать уровень проектных решений экспертами в рамках единой классификации ко всем рассматриваемым

ние рисками в строительстве; анализ видов и последствий отказов; приоритетное число риска.

of errors. The analysis of information about defects in the project documentation served as the basis for the formation of approaches to risk assessment. The study developed criteria for a quality assurance system for project work, and also determined the significance of the risks of non-compliance according to the degree of priority of corrective actions. The assessment of the level of criteria of the quality system of the design organizations and the associated risks was carried out. The method justifies a comprehensive assessment of the organization's quality system indicators, taking into account risks, and the development of corrective measures to improve the quality of projects.

The results of the study suggest a mathematical model of risk assessment based on a modular approach and developed quality criteria.

Keywords: construction design; risk management in construction; analysis of types and consequences of failures; priority number of risks.

объектам. Данное условие фактически создаёт основание для вольной интерпретации трактовки законодательства и строительных норм, что ведёт к недостаточному уровню оценки и малой величине идентифицированных рисков.

Анализ статистических данных обосновывает разработку критериев проектной организации, обеспечивающих определение и интерпретацию уровня качества и направленных на снижение вероятности возникновения негативных рисков путём проведения корректирующих мероприятий. Ранее проведённым исследованием [6] разработаны 26 критериев в отношении выбора проектных решений и материалов, влияющих на качественные характеристики средовой устойчивости здания и его энергоэффективности. Применение методов многофакторного анализа раскрывает актуальность критериев в контексте всего жизненного цикла объекта строительства [10–11], что обуславливает внедрение комплексного подхода к управлению качеством и рисков [12–16].



Рис. 1. Взаимосвязь модулей оценки проектной организации и рисков
Fig. 1. The relationship between project organization and risk assessment modules

Степень приоритета	Корректирующие воздействия
Высокий приоритет (H)	- Анализ критических параметров конструкционной надёжности, расчётных схем и модели здания. - Пересмотр принципиальных технических и планировочных решений, выбора строительных и отделочных материалов. - Оценка негативных факторов в контексте экологии, ситуационного расположения, пожарной безопасности.
Средний приоритет (M)	- Изменение отдельных планировочных и конструктивных решений в целях повышения параметров надёжности и безопасности строительного объекта. - Корректировка генерального плана, параметров этажности и градостроительных решений. - Уточняющие расчёты и корректировки инженерных разделов проектной документации.
Низкий приоритет (L)	Меры по улучшению средовой устойчивости, архитектурной выразительности и экономической эффективности.

Табл. 1. Приоритеты рисков и корректирующие воздействия
Tab. 1. Risk priorities and corrective actions

Материалы и методы

Модульный подход в оценке проектной организации позволяет структурировать и детализировать критерии качества методами декомпозиции организационной управленческой модели, системного подхода и квалиметрии [13; 14]. Методология модульного подхода позволяет рассматривать проектную организацию как совокупный набор элементарных модулей, обобщённых согласованными качественными критериями [15]. В процессе исследования разработано три ключевых модуля, исходя из особенностей технологического процесса проектирования, включающих в себя оценку уровня кадрового потенциала, обеспеченности инженерно-техническими средствами и непосредственно проектной документации. Анализируя взаимосвязь составляющих модули критериев, можно определить наиболее вероятную локализацию рисков (рисунок 1).

Интерпретация определяет минимальные и приемлемые уровни рисков для организаций, обладающих высоким уровнем проектной документации в сочетании с аналогичными показателями модулей кадрового потенциала и/или инженерно-технической оснащённости (позиции 1, 3, 4 на рисунке 1). Высокий риск характерен для субъектов, обладающих высокими показателями по единичным модулям (позиция 2 на рисунке 1), что обосновывает необходимость ограничения допуска данных компаний к конкурентным конкурсным процедурам для объектов повышенного класса ответственности.

Использование методологических основ системного подхода [10; 16–22] и многофакторного анализа [20] позволяют разработать критерии качества в условиях множественных целей и ограничений, характерных для процесса проектирования, и определить величины весов. Значение показателя качества определяется как средневзвешенное [15] по формуле:



Рис. 2. Шкала рисков (RPN)
Fig. 2. Risk Scale (RPN)

где q_i – показатель уровня качества; ω_i – вес i -го критерия качества; C_j – балльное значение i -го критерия, определённого k -ым экспертом; n – количество экспертов; m – количество критериев.

Анализ выявленных критериев качества проектной организации в контексте принципов модульного подхода позволяет определить величины их риска. Методология анализа видов и отказов (FMEA) направлена на анализ существующих или возможных причин с целью снижения негативных факторов риска [21, 23–27] и рекомендована к применению актуальной нормативной документацией [9]. Цель подходов FMEA заключается не только в разработке корректирующих мер, но и, прежде всего, в предотвращении дефектов и вероятности наступления события риска [27–30]. Научными исследованиями отмечен положительный эффект применения метода, заключающийся в повышении параметров надёжности оцениваемых организаций [25]. Математическая модель FMEA предполагает оценку вероятности наступления негативных событий экспертным методом по шкале от 1 до 10 в отношении переменных риска тяжести (S), возникновения (O) и обнаружения (D) с последующим определением приоритетного числа риска (RPN) по формуле:

$$RPN_i = S_i \times O_i \times D_i,$$
 (2)

где RPN_i – значение числа приоритетного риска по оцениваемому критерию, S_i – величина тяжести риска, O_i – величина вероятности возникновения риска, D_i – величина вероятности обнаружения риска.

		Вероятность возникновения риска (O)				Вероятность обнаружения риска (D)
		1–3	4–6	7–8	9–10	
Тяжесть риска (S)	1–3	L	L	L	L	
		L	L	L	L	
		L	L	L	L	
		L	L	L	L	
	4–6	L	L	L	M	
		L	L	M	M	
		L	L	M	H	
		L	M	M	H	
	7–8	L	M	M	H	
		L	M	H	H	
	9–10	L	M	H	H	
		L	H	H	H	
		M	H	H	H	
		H	H	H	H	
		L	L	L	L	
		L	L	L	L	
		L	L	L	L	
		L	L	L	L	
		L	L	L	L	
		L	L	L	L	

Табл. 2. Матрица приоритета риска
Tab. 2. Risk priority matrix

Проведённый анализ критериев качества позволяет дать оценку величины качественного показателя во взаимосвязи со степенью и приоритетностью возникающих рисков. Данный подход позволяет исключить неоднозначную трактовку степени рисков метода FMEA, при которой критериям с различным уровнем локализации и тяжести последствий присваивается равное или близкое значение числа RPN. В сочетании с количественным измерением уровня качества последовательный подход к оценке риска по критерию от тяжести возникновения к вероятности возникновения и обнаружения обосновывает классификацию рисков исходя из приоритетности применения мер по их устранению. Развивая системный подход и принципы экспертной оценки [2; 15–18] в определении критериев качества и их уровня методом дифференциации производственного процесса на модули, настоящее исследование дифференцирует риски непосредственно в части проектных работ как основополагающего начального процесса жизненного цикла строительного объекта.

Заключение

Риски, возникающие на этапе проектных работ, являются критически значимыми для обеспечения параметров надёжности, безопасности и экономической эффективности объекта строительства. Влияние негативного эффекта ошибок данного этапа сказывается на протяжении всего жизненного цикла здания, приводя как к возникновению аварий на стадии строительства и эксплуатации, так и к ограничениям при реконструкции и реновации.

Развитие принципов системного подхода в разработке критериев и уровня системы качества модульным методом позволяет дифференцировать риски проектной организации исходя как из степени их величины, так и приоритета по применению корректирующих воздействий. Применение методов математического моделирования обуславливает ранжирование критериев и величины их весомости. Предложенные подходы позволяют дифференцированно определять критерии качества исходя из особенностей производственного процесса проектной организации.

		Вероятность возникновения риска (O)					
		1–3	4–6	7–8	9–10		
Тяжесть риска (S)	1–3	L	L	L	L	1	Вероятность обнаружения риска (D)
		L	L	L	L	2–4	
		L	L	L	L	5–6	
		L	L	L	L	7–10	
	4–6	L	L	L	M	1	
		L	L (3.8)	M (3.11)	M	2–4	
		L	L (3.3, 3.7)	M (1.8, 2.1)	H	5–6	
		L	M (1.6)	M (2.2, 2.5, 3.4)	H (2.4)	7–10	
	7–8	L	M	M	H	1	
		L	M	H	H	2–4	
		M	M (3.5, 3.6, 3.12)	H (1.5, 3.9)	H	5–6	
		M	H (1.3, 3.1, 3.10)	H (1.7, 2.5, 2.7, 3.2)	H (2.6)	7–10	
	9–10	L	M	H	H	1	
		L	H	H	H	2–4	
		M	H (2.3)	H	H	5–6	
		H	H (1.1)	H (1.4, 1.9)	H (1.2)	7–10	

Рис. 2. Шкала рисков (RPN)
Fig. 2. Risk Scale (RPN)

По результатам исследования приоритетных рисков и весомостей качества исследуемых параметров предложена таблица, определяющая классификацию риска (таблица 2). Итоговое значение RPN при этом определяется с учётом весомости критерия по формуле:

$$RPN_i = \omega_i (S_i \times O_i \times D_i),$$
 (3)

где RPN_i – значение числа приоритетного риска по оцениваемому критерию, ω_i – вес i -го критерия качества оценки модуля, S_i – величина тяжести риска, O_i – величина вероятности возникновения риска, D_i – величина вероятности обнаружения риска.

Результаты и обсуждение

В результате исследования разработаны критерии качества проектной документации и определены величины весомости. При проведении оценки каждому показателю присвоены баллы и определены величины уровня качества и приоритетного риска (таблица 3).

Полученные в процессе оценки численные значения величин критериев риска позволяют классифицировать приоритетность с учётом ранее определённых величин весомостей (таблица 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байбурин, А. Х. Аварии зданий и сооружений (уроки строительных аварий) / А. Х. Байбурин, И. В. Стоякин. – Челябинск : Цицеро, 2019. – 124 с.
2. Сборщиков, С. Б. Многофакторная параметрическая модель эффективности организационных решений по обеспечению качества строительства / С. Б. Сборщиков, Е. Е. Бахус // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 12. – С. 60–67.
3. Анализ причин аварий на разных этапах жизненного цикла объекта строительства / А. П. Лапина, А. В. Пономаренко, К. В. Шенцова, А. А. Котесова // Строительные материалы и изделия. – 2019. – № 2. – С. 17–22.
4. Gambatese, J. A. Design’s role in construction accident causality and prevention: Perspectives from an expert panel / J. A. Gambatese, M.I Behm, S. Rajendran // Safety Science. – 2008. – Vol. 46, Iss. 4. – Pp. 675–691.
5. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надёжности и безопасности строительных конструкций / А. В. Перельмутер. – Москва : Издательство АСВ, 2007. – 256 с.
6. Самофалов, М. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве / М. Самофалов, В. Папинигис // Инженерно-строительный

журнал. – 2010. – № 2 (12). – С. 4–11.
7. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (в редакции Федерального закона от 02.07.2013 № 185-ФЗ) : принят Государственной Думой 23 декабря 2009 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года : вступил в силу с 30 июня 2010 года // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2010. – № 1. – Ст. 5.
8. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (ред. от 01.01.2025) : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года // КонсультантПлюс : [интернет-портал]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 01.03.2025).
9. Менеджмент риска. Методы оценки риска : ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 : Национальный стандарт Российской Федерации : утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 декабря 2011 г. № 680-ст / Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» // Технический комитет по стандартизации ТК 10 «Менеджмент

№ пп.	Наименование критерия	Весомость	Уровень качества (q)	Тяжесть (S)	Возникновение (O)	Обнаружение (D)	Число приоритета (RPN)	Степень риска
1. Модуль кадрового потенциала								
1.1	Уровень аттестации	0,328	1,35	9	6	8	432	высокий
1.2	Профессиональное совершенство	0,191	0,85	6	9	8	432	высокий
1.3	Уровень коллективного опыта	0,121	0,28	8	6	8	384	средний
1.4	Квалификация	0,102	0,61	9	8	8	576	высокий
1.5	Стабильность инженерного состава	0,08	0,19	8	7	6	336	средний
1.6	Научный потенциал	0,063	0,13	6	6	8	288	средний
1.7	Уровень командной слаженности	0,045	0,21	8	7	7	392	средний
1.8	Технологии информационного моделирования (BIM)	0,035	0,19	4	7	6	168	средний
1.9	Удовлетворённость сотрудников	0,035	0,11	9	8	9	648	критический
2. Модуль уровня инженерно-технической обеспеченности проектной организации								
2.1	Оснащённость техническими средствами	0,359	1,08	6	7	6	252	средний
2.2	Мобильность рабочих мест	0,188	0,81	6	7	7	294	средний
2.3	Современное программное обеспечение	0,134	0,76	9	5	6	270	средний
2.4	Информационная доступность	0,092	0,46	6	9	7	378	средний
2.5	Система электронного документооборота	0,09	0,24	5	8	7	280	средний
2.6	Информационная надёжность и безопасность	0,075	0,33	8	9	7	504	высокий
2.7	Уровень внедрённой системы облачных решений и удалённого доступа	0,062	0,31	7	8	8	448	высокий
3. Модуль оценки качества проектов								
3.1	Бездефектность проектирования	0,223	1,34	7	6	7	294	средний
3.2	Внутренний контроль разработки проектной документации	0,127	0,72	8	7	8	448	высокий
3.3	Цифровизация BIM-среды проектирования	0,095	0,76	6	6	5	180	средний
3.4	Операционная эффективность	0,072	0,53	6	7	7	294	средний
3.5	Соответствие требованиям исходной документации	0,081	0,46	7	6	7	294	средний
3.6	Регламентация документооборота и нормоконтроля	0,075	0,38	7	6	7	294	средний
3.7	Эффективность исполнения договорных обязательств	0,069	0,44	4	6	6	144	малый
3.8	Эстетическое и функциональное качество проектных решений	0,065	0,52	6	6	4	144	малый
3.9	Уровень наукоёмкости	0,064	0,30	7	7	6	294	средний
3.10	Риск-ориентированный подход	0,051	0,22	7	5	7	245	средний
3.11	Экологическая устойчивость и энергоэффективность инженерных решений	0,043	0,30	5	8	4	160	средний
3.12	Применение подходов жизненного цикла и адаптивности в проектных решениях	0,035	0,16	7	8	6	336	средний

Таб. 3. Сводная таблица показателей организации
Tab. 3. Summary table of organization indicators

Интерпретация полученных значений (рисунок 2) определяет ранговое значение исследуемых критериев качества при анализе локализации риска и приоритетности мер по его устранению.

Для категорий незначительного и малого риска не проводится анализ первопричин, риски среднего и высокого значения требуют анализа операционной составляющей деятельности организации, в случае наличия критических рисков системному анализу подвергается весь процесс производства и управления.

Значение RPN представляет собой результирующее число абсолютных значений рисков, при этом методика не в полной мере учитывает их взаимосвязь, весомости и сочетание исследуемых факторов. На практике ситуация может реализоваться в получении факторами близких значений приоритетного риска, при этом локализация,

весомость или опасность одного из них будет иметь наиболее критическое значение для параметров безопасности и надёжности. Рядом научных исследований отмечены существенные недостатки подхода [29–33], на основании анализа которых предложен алгоритм приоритетов действий. Принцип данного подхода в методике FMEA заключается в определении такого сочетания значений рисков, при котором достигается наиболее высокий приоритет, что позволяет при проведении последующего анализа и корректирующих мероприятий установить важность оцениваемого критерия и последовательность действий по минимизации негативного эффекта. Определено три уровня приоритетности действий: высокий, средний и низкий (таблица 1), что позволяет в первую очередь рассматривать серьёзность, затем вероятность возникновения и обнаружения риска.

- риска». – Москва : Стандартинформ, 2012.
10. Tuhacek, M. Quality of Project Documentation / M. Tuhacek, P. Svoboda. – DOI 10.1088/1757-899X/471/5/052012 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 471, Iss. 5. – Art. 052012.
 11. Tabejamaat, S. Boosting large-scale construction project risk management: Application of the impact of building information modeling, knowledge management, and sustainable practices for optimal productivity / S. Tabejamaat, H. Ahmadi, B. Barmayehvar. – DOI 10.1002/ese3.1746 // Energy Science & Engineering. – 2024. – Vol. 12, Iss. 5. – Pp. 2284–2296.
 12. A novel fire risk assessment approach for large-scale commercial and high-rise buildings based on fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) and coupling revision / Y. Wang, L. Hou, M. Li, R. Zheng. – DOI 10.3390/ijerph18137187 // International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH). – 2021. – Vol. 18, Iss. 3. – Art. 7187.
 13. Risk management – Guidelines : ISO 31000:2018 : International Standard / International Organization for Standardization. – Edition 2. – 2018. – 16 p.
 14. Азгальдов, Г. Г. Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / Г. Г. Азгальдов. – Москва : Стройиздат, 1989. – 272 с.
 15. Байбурин, А. Х. Система модульной оценки качества проектных организаций с учётом рисков / А. Х. Байбурин, А. Ю. Самарин // Строительное производство. – 2024. – № 3. – С. 45–49.
 16. Голубова О. С. Показатели оценки качества проектно-сметной документации в строительстве / О. С. Голубова // Актуальные вопросы экономики строительства и городского хозяйства : доклады Международной научно-практической конференции, 13–14 мая 2014 года, Минск, БНТУ / Белорусский национальный технический университет, Строительный факультет. – Минск : БНТУ, 2015. – С. 55–65.
 17. Алиулова, В. А. Оценка качества проектной документации повторного использования / В. А. Алиулова, М. В. Петроченко // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 6. – С. 730–740.
 18. Байбурин, А. Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий / А. Х. Байбурин. – Москва : Издательство АСВ, 2015. – 336 с.
 19. Системный подход к разработке и управлению качеством строительных материалов : монография / Ю. М. Баженов, И. А. Гарькина, Е. В. Королев, Ю. А. Соколова. – Москва : Палетип, 2006. – 187 с.
 20. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати ; Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – Москва : Радио и связь, 1993. – 314 с.
 21. Keeney, R. L. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs / R. L. Keeney, H. Raiffa, D. W. Rajala. – DOI 10.1109/TSMC.1979.4310245 // IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics. – 1976. – Vol. 9, Iss. 7. – Pp. 403–403.
 22. Акристиний, В. А. Анализ реализуемых методов строительно-технической экспертизы проектной документации / В. А. Акристиний, Д. А. Жарков // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019. – № 4 (2). – С. 113–118.
 23. Life cycle assessment and multi-criteria decision-making for sustainable building parts: criteria, methods, and application / K. Theilig, B. Lourenço, R. Reitberger, W. Lang. – DOI 10.1007/s11367-024-02331-9 // The International Journal of Life Cycle Assessment. – 2024. – Vol. 29. – Pp. 1965–1991.
 24. Selleck, R. Determining the Reliability of Critical Controls in Construction Projects / R. Selleck, M. Hassall, M. Cattani. – DOI 10.3390/safety8030064 // Safety. – 2022. – Vol. 8, Iss. 3. – P. 64.
 25. Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review / H.-C. Liu, X. Chen, C.-Y. Duan, Y.-M. Wang // Computers & Industrial Engineering. – 2019. – Vol. 135. – Pp. 881–897.
 26. Lo, H.-W. A novel multiple-criteria decision-making-based FMEA model for risk assessment / H.-W. Lo, J. J. H. Liou. – DOI 10.1016/j.asoc.2018.09.020 // Applied Soft Computing. – 2018. – Vol. 73. – Pp. 684–696.
 27. Lin, S.-W. An FMEA model for risk assessment of university sustainability: using a combined ITARA with TOPSIS-AL approach based neutrosophic sets / S.-W. Lin, H.-W. Lo. – DOI 10.1007/s10479-023-05250-4 // Annals of Operations Research. – 2023. – Vol. 342. – Pp. 2119–2145.
 28. Bashan, V. An FMEA-based TOPSIS approach under single valued neutrosophic sets for maritime risk evaluation: the case of ship navigation safety / V. Başhan, H. Demirel, M. Gül. – DOI 10.1007/s00500-020-05108-y // Soft Computing. – 2020. – Vol. 24. – Pp. 18749–18764.
 29. Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda / J. Huang, J. You, H.-C. Liu, M.-S. Song. – DOI 10.1016/j.res.2020.106885 // Reliability Engineering & System Safety. – 2020. – Vol. 199. – Art. 106885.
 30. Yazdi, M. An extension to Fuzzy Developed Failure Mode and Effects Analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system / M. Yazdi, S. Daneshvar, H. Setareh. – DOI 10.1016/j.ssci.2017.06.009 // Safety Science. – 2017. – Vol. 98. – Pp. 113–123.
 - Vol. 46, Iss. 4. – Pp. 675–691.
 5. Perelmuter, A. V. [Selected problems of reliability and safety of building structures] / A. V. Perelmuter. – Moscow : ACU Publishing House [Publishing House of the Association of Construction Universities], 2007. – 256 p.
 6. Samofalov, M. Kachestvo konstruktorskoj proektnoj dokumentatsii s tochki zreniya tekhnicheskoy ehkspertizy v Litve [The quality of design documentation from the point of view of technical expertise in Lithuania] / M. Samofalov, V. Papinigis // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal [Engineering and Construction Magazine]. – 2010. – No. 2 (12). – Pp. 4–11.
 7. Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij : Federal'nyj zakon ot 30.12.2009 № 384-FZ (v redaktsii Federal'nogo zakona ot 02.07.2013 № 185-FZ) [Technical Regulations on the safety of buildings and structures : Federal Law No. 384-FZ of 12/30/2009 (as amended by Federal Law No. 185-FZ of 07/02/2013)] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 23 dekabrya 2009 goda : odobren Sovetom Federatsii 25 dekabrya 2009 goda : vstupil v silu s 30 iyunya 2010 goda [adopted by the State Duma on December 23, 2009 : approved by the Federation Council on December 25, 2009 : entered into force on June 30, 2010] // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii [Collection of Legislation of the Russian Federation Federation]. – 2010. – No. 1. – Art. 5.
 8. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii : Federal'nyj zakon ot 29 dekabrya 2004 g. № 190-FZ (red. ot 01.01.2025) [The Urban Planning Code of the Russian Federation : Federal Law No. 190-FZ of December 29, 2004 (as amended on 01.01.2025)] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 22 dekabrya 2004 goda : odobren Sovetom Federatsii 24 dekabrya 2004 goda [adopted by the State Duma on December 22, 2004 : approved by the Federation Council on December 24, 2004] // ConsultantPlus : [Internet portal]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040 / (date of access: 03/01/2025).
 9. Menedzhment riska. Metody otsenki riska : GOST R ISO/MEHK 31010-2011 : Natsional'nyj standart Rossijskoj Federatsii [Risk management. Risk assessment methods : GOST R ISO/IEC 31010-2011 : National Standard of the Russian Federation] : utverzhdyon i vvedyon v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 1 dekabrya 2011 g. № 680-st [approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 1, 2011 No. 680-st] / Avtonomnoj nekommercheskoj organizatsiej «Nauchno-issledovatel'skij tsentr kontrolya i diagnostiki tekhnicheskikh sistem» [Autonomous Non-profit Organization Scientific Research Center for Control and Diagnostics of Technical Systems] // Tekhnicheskij komitet po standartizatsii TK 10 «Menedzhment riska» [Technical Committee for Standardization TC 10 "Risk management"]. – Moscow : Standartinform, 2012.
 10. Tuhacek, M. Quality of Project Documentation / M. Tuhacek, P. Svoboda. – DOI 10.1088/1757-899X/471/5/052012 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 471, Iss. 5. – Art. 052012.
 11. Tabejamaat, S. Boosting large-scale construction project risk management: Application of the impact of building information modeling, knowledge management, and sustainable practices for optimal productivity / S. Tabejamaat, H. Ahmadi, B. Barmayehvar. – DOI 10.1002/ese3.1746 // Energy Science & Engineering. – 2024. – Vol. 12, Iss. 5. – Pp. 2284–2296.
 12. A novel fire risk assessment approach for large-scale commercial and high-rise buildings based on fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) and coupling revision / Y. Wang, L. Hou, M. Li, R. Zheng. – DOI 10.3390/ijerph18137187 // International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH). – 2021. – Vol. 18, Iss. 3. – Art. 7187.
 13. Risk management – Guidelines : ISO 31000:2018 : International Standard / International Organization for Standardization. – Edition 2. – 2018. – 16 p.
 14. Azgaldov, G. G. Kvalimetriya v arkhitekturno-stroitel'nom proektirovanii [Qualimetry in architectural and construction design] / G. G. Azgaldov. – Moscow : Stroyizdat, 1989. – 272 p.
 15. Bayburin, A. H. Sistema modul'noj otsenki kachestva proektnykh organizatsij s uchytom riskov [The system of modular quality assessment of design organizations taking into account risks] / A. H. Bayburin, A. Y. Samarina // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 3. – Pp. 45–49.
 16. Golubova O. S. Pokazатели otsenki kachestva proektno-smetnoj dokumentatsii v stroitel'stve [Indicators for assessing the quality of design estimates in construction] / O. S. Golubova // Aktual'nye voprosy ehkonomiki stroitel'stva i gorodskogo khozyajstva : doklady Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, 13–14 maya 2014 goda, Minsk, BNTU [Topical issues of economics of construction and urban economy : reports of the International Scientific and Practical Conference, May 13–14, 2014, Minsk, BNTU] / Belorusskij natsional'nyj tekhnicheskij universitet, Stroitel'nyj fakul'tet [Belarusian National Technical University, Faculty of Civil Engineering]. –
 - Minsk : BNTU, 2015. – Pp. 55–65.
 17. Aliulova, V. A. Otsenka kachestva proektnoj dokumentatsii povtornogo ispol'zovaniya [Quality assessment of project documentation for reuse] / V. A. Aliulova, M. V. Petrochenko // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2021. – Vol. 16, No. 6. – Pp. 730–740.
 18. Bayburin, A. H. Obespechenie kachestva i bezopasnosti vozvodimyykh grazhdanskikh zdaniy [Ensuring the quality and safety of civil buildings under construction] / A. H. Bayburin. Moscow : ACU Publishing House [Publishing House of the Association of Construction Universities], 2015. – 336 p.
 19. Sistemnyj podkhod k razrabotke i upravleniyu kachestvom stroitel'nykh materialov : monografiya [A systematic approach to the development and quality management of building materials : a monograph] / Yu. M. Bazhenov, I. A. Garkina, E. V. Korolev, Yu. A. Sokolova. Moscow : Paleotype Publ., 2006. – 187 p.
 20. Saati, T. L. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarkhij [Decision-making. Method of hierarchy analysis] / T. L. Saati; Translated from English by R. G. Vachnadze. – Moscow : Radio and Communications, 1993. – 314 p.
 21. Keeney, R. L. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs / R. L. Keeney, H. Raiffa, D. W. Rajala. – DOI 10.1109/TSMC.1979.4310245 // IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics. – 1976. – Vol. 9, Iss. 7. – Pp. 403–403.
 22. Akristiniy, V. A. Analiz realizuemykh metodov stroitel'no-tekhnicheskoy ehkspertizy proektnoj dokumentatsii [Analysis of implemented methods of construction and technical expertise of project documentation] / V. A. Akristiniy, D. A. Zharkov // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologij «Integral» [International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral"]. – 2019. – No. 4 (2). – Pp. 113–118.
 23. Life cycle assessment and multi-criteria decision-making for sustainable building parts: criteria, methods, and application / K. Theilig, B. Lourenço, R. Reitberger, W. Lang. – DOI 10.1007/s11367-024-02331-9 // The International Journal of Life Cycle Assessment. – 2024. – Vol. 29. – Pp. 1965–1991.
 24. Selleck, R. Determining the Reliability of Critical Controls in Construction Projects / R. Selleck, M. Hassall, M. Cattani. – DOI 10.3390/safety8030064 // Safety. – 2022. – Vol. 8, Iss. 3. – P. 64.
 25. Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review / H.-C. Liu, X. Chen, C.-Y. Duan, Y.-M. Wang // Computers & Industrial Engineering. – 2019. – Vol. 135. – Pp. 881–897.
 26. Lo, H.-W. A novel multiple-criteria decision-making-based FMEA model for risk assessment / H.-W. Lo, J. J. H. Liou. – DOI 10.1016/j.asoc.2018.09.020 // Applied Soft Computing. – 2018. – Vol. 73. – Pp. 684–696.
 27. Lin, S.-W. An FMEA model for risk assessment of university sustainability: using a combined ITARA with TOPSIS-AL approach based neutrosophic sets / S.-W. Lin, H.-W. Lo. – DOI 10.1007/s10479-023-05250-4 // Annals of Operations Research. – 2023. – Vol. 342. – Pp. 2119–2145.
 28. Bashan, V. An FMEA-based TOPSIS approach under single valued neutrosophic sets for maritime risk evaluation: the case of ship navigation safety / V. Başhan, H. Demirel, M. Gül. – DOI 10.1007/s00500-020-05108-y // Soft Computing. – 2020. – Vol. 24. – Pp. 18749–18764.
 29. Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda / J. Huang, J. You, H.-C. Liu, M.-S. Song. – DOI 10.1016/j.res.2020.106885 // Reliability Engineering & System Safety. – 2020. – Vol. 199. – Art. 106885.
 30. Yazdi, M. An extension to Fuzzy Developed Failure Mode and Effects Analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system / M. Yazdi, S. Daneshvar, H. Setareh. – DOI 10.1016/j.ssci.2017.06.009 // Safety Science. – 2017. – Vol. 98. – Pp. 113–123.

REFERENCES

Павлов Александр Сергеевич
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, building2020@inbox.ru

Alexander Sergeevich Pavlov
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Power Facilities, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, building2020@inbox.ru

Островский Роман Вадимович
Главный специалист Управления мониторинга и контроля сроков, АО «Атомстройэкспорт» (АО АСЭ), Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 2, строение 1, rchkp@rambler.ru

Roman Vadimovich Ostrovskii
Head specialist of the Monitoring and Timing Control Department Russia, Atomstroyexport JSC (ASE JSC), Russia, 127434, Moscow, Dmitrovskoye shosse, 2, stroenie 1, rchkp@rambler.ru

Аннотация. В данной статье представлен статистический анализ распределения продолжительности различных видов работ, выполняемых при строительстве атомных электростанций (АЭС). На основе данных о фактической длительности работ на Белорусской АЭС, АЭС «Эль-Дабаа» и АЭС «Пакш» проведено сравнение с плановыми сроками. В статье приведено уточнение показателей вероятности превышения плановых сроков работ в зависимости от их типа на основе уточнения графиков уже реализованных проектов.

Использован критерий χ^2 (хи-квадрат) для проверки гипотез о нормальном и логнормальном распределении относительной длительности работ. Результаты исследования показали, что логнормальное распределение лучше описывает фактическую продолжительность строительных работ, особенно после разде-

ления общей выборки на подмножества с распределёнными и сосредоточенными значениями. Это связано с тем, что фактическое время выполнения не может быть меньше нуля, но может значительно превышать запланированное.

Для моделирования продолжительности строительства с учётом выявленных закономерностей предлагается использовать программный комплекс Monte-Carlo Network. Полученные выводы и разработанные методики могут быть применены для повышения точности планирования и управления сроками при строительстве АЭС, а также для более эффективного формирования временных резервов.

Ключевые слова: длительность сооружения АЭС, продолжительность работ, распределение продолжительности, превышение плановых сроков, резервы времени, метод Монте-Карло.

works, especially after dividing the total sample into subsets with distributed and centered values. This is due to the fact that the actual execution time may not be less than zero, but may be significantly higher than the planned one.

To model the construction duration taking into account the identified patterns, it is proposed to use the Monte-Carlo Network software package. The obtained conclusions and developed methods can be applied to improve the accuracy of planning and time management during NPP construction, as well as for more efficient formation of time reserves.

Keywords: NPP construction duration, duration of works, duration distribution, schedule overrun, time reserves, Monte Carlo method.

Предварительный этап технико-экономического обоснования (Feasibility study) обычно предшествует размещению, но в данном контексте не рассматривается.

Важно подчеркнуть, что параллельно с проектированием и строительством АЭС происходит разработка, изготовление и поставка основного энергетического оборудования длительного цикла (ОДЦИ). Эти процессы, хотя и критически важны, не включены в основной перечень стадий жизненного цикла, так как по большей части осуществляются параллельно, вне строительной площадки: в конструкторских бюро, на заводах, при транспортировке, на складах и на строительных базах.

Аналогично, разработка, утверждение и предоставление рабочей документации, а также изготовление и по-

ставка специализированного строительно-монтажного оборудования и оснастки хотя и являются параллельными процессами, влияют на критический путь строительства и создают риски отставания от графика, что, в свою очередь, влечёт за собой дополнительные затраты [2–5]. Детальный статистический анализ этих процессов выходит за рамки данного исследования, однако их вероятностный характер должен быть учтён в общей модели жизненного цикла АЭС.

Проводимая ранее авторами исследования работа на основе графиков фактического выполнения работ на Белорусской АЭС в г. Островец по сопоставлению фактических и плановых сроков работ [6], позволяющая выявить изменения в продолжительности каждого этапа и отдельных операций жизненного цикла АЭС, была уточнена на основе аналогичных графиков с АЭС «Эль-Дабаа» (Арабская Республика Египет) и АЭС «Пакш» (Венгрия). Полученные результаты приведены в таблице 1.

Календарные графики строительно-монтажных работ зачастую содержат в себе работы, выполняемые «одним днём», такие как бетонирование малых конструктивов, монтаж некоторых видов оборудования, ряд пусконаладочных работ (которые при анализе графиков были отнесены к работам по монтажу отдельных систем, поскольку являются завершающими этапами этих работ при их более высокой детализации) [7; 8]. Встречаются также работы с незначительной продолжительностью, длительность которых была увеличена во много раз из-за влияния на них неуправляемых факторов (погодные условия, запрет заказчика на проведение работ и других).

С целью уточнения вероятности превышения фактической длительности работ относительно плановой и средней величин задержки, перечисленные выше работы были частично исключены из статистики, поскольку снижали точность результатов исследования.

№ пп.	Тип работ	Вероятность превышения фактической длительности относительно плановой	Средняя величина задержки (относительная)
1	Монтаж технологических систем	0,24	1,29
2	Молниезащита и заземление	0,32	1,85
3	Монтаж металлоконструкций	0,29	1,60
4	Монтаж электрики	0,24	1,04
5	Монтаж вентиляции	0,31	1,31
6	Бетонирование	0,36	1,61
7	Монтаж АСУ ТП	0,23	1,03
8	Устройство гермооблицовки	0,25	1,60
9	Армирование	0,25	1,31
10	Устройство гидроизоляции	0,44	2,38
11	Монтаж грузоподъёмных механизмов	0,18	1,27
12	Земляные работы	0,23	1,36

Табл. 1. Классификация основных типов работ в графиках сооружения с показателем вероятности превышения плановых сроков

Tab. 1. Classification of the main types of work in construction schedules with an indicator of the probability of exceeding planned deadlines

Необходимо добавить, что на фактическую продолжительность работ влияет масса внутренних и внешних факторов – от качества разработки РД и наличия квалифицированного персонала до способов управления проектом и организационно-технической надёжности участников строительства [9–12].

Материалы и методы

Для изучения статистических закономерностей продолжительности строительно-монтажных работ был проведён анализ данных по видам работ, представленным в таблице 1. При статистическом анализе были выдвинуты конкурирующие гипотезы о нормальном и логнормальном распределении относительной длительности работ, где относительная длительность – это отношение фактической длительности к плановой. Для проверки гипотез использовался критерий χ^2 (хи-квадрат), подходящий для анализа данных, сгруппированных по интервалам.

$$\chi^2_n = n \sum_{i=1}^k \frac{\left(\frac{n_i}{n} - P_i(\theta) \right)^2}{P_i(\theta)}, \tag{1}$$

где n – общее количество наблюдений;
 k – количество интервалов разбиения;
 n_i – количество наблюдений в i -м интервале;
 $P_i(\theta) = F(x_i, \theta) - F(x_{i-1}, \theta)$ – теоретическая вероятность попадания в интервал;
 $F(x, \theta)$ – теоретическая плотность распределения случайной величины x ;
 θ – совокупность параметров распределения (в данном случае 2 параметра).

Вычисленное значение критерия сопоставляется с критическим значением χ^2 -распределения. Плотность χ^2 -распределения при положительном значении x определяется по формуле:

$$f_{\chi^2}(x) = \frac{x^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}, \tag{2}$$

где $\Gamma(x)$ – гамма-функция, или интеграл Эйлера, как обобщение факториала;

k – число степеней свободы, равное $N - 1 - m$;
 m – количество параметров распределения (в данном случае $m = 2$).

Критическое значение χ^2 определяется либо по таблицам, либо с помощью встроенной функции в электронных таблицах.

Для первичной проверки статистической гипотезы использовались данные по арматурным работам на железобетонных конструкциях энергоблоков АЭС «Пакш», АЭС «Эль-Дабаа и Белорусской АЭС в 2015–2024 годах, полученные из отчётов исполнителей работ.

Была проанализирована 441 арматурная работа продолжительностью от 5 до 1320 дней. Для каждой работы была рассчитана относительная длительность, которая варьировалась от 0,244 до 20,700. Изначальные статистические параметры совокупности: математическое ожидание – 1,315 и среднеквадратичное отклонение – 1,513 (в относительных единицах).

Установлено, что задержки некоторых работ были вызваны не технологическими факторами, а проблемами с технической документацией. В связи с этим из анализа исключили работы, чья фактическая продолжительность отличалась от плановой более чем в 5 раз (в любую сторо-



Рис. 1. Распределение общей выборки относительной длительности арматурных работ
Fig. 1. Distribution of the total sample of relative duration of reinforcement works

ну). Это сократило выборку до 432 работ, но значительно изменило статистические параметры: математическое ожидание стало 1,167, а среднеквадратичное отклонение – 0,653.

Дальнейший анализ показал, что в исследуемой выборке значительная доля случаев характеризуется относительной длительностью, равной единице, то есть фактическим совпадением с плановой продолжительностью. Это обусловлено управляемым характером технологических процессов на строительной площадке. Поэтому целесообразно разделить выборку на два подмножества: 1) подмножество с распределёнными значениями и 2) подмножество с сосредоточенными значениями, равными или близкими к единице [13–14].

Из общего числа работ 222 (51,4 %) имели относительную длительность равную 1, что означает их завершение

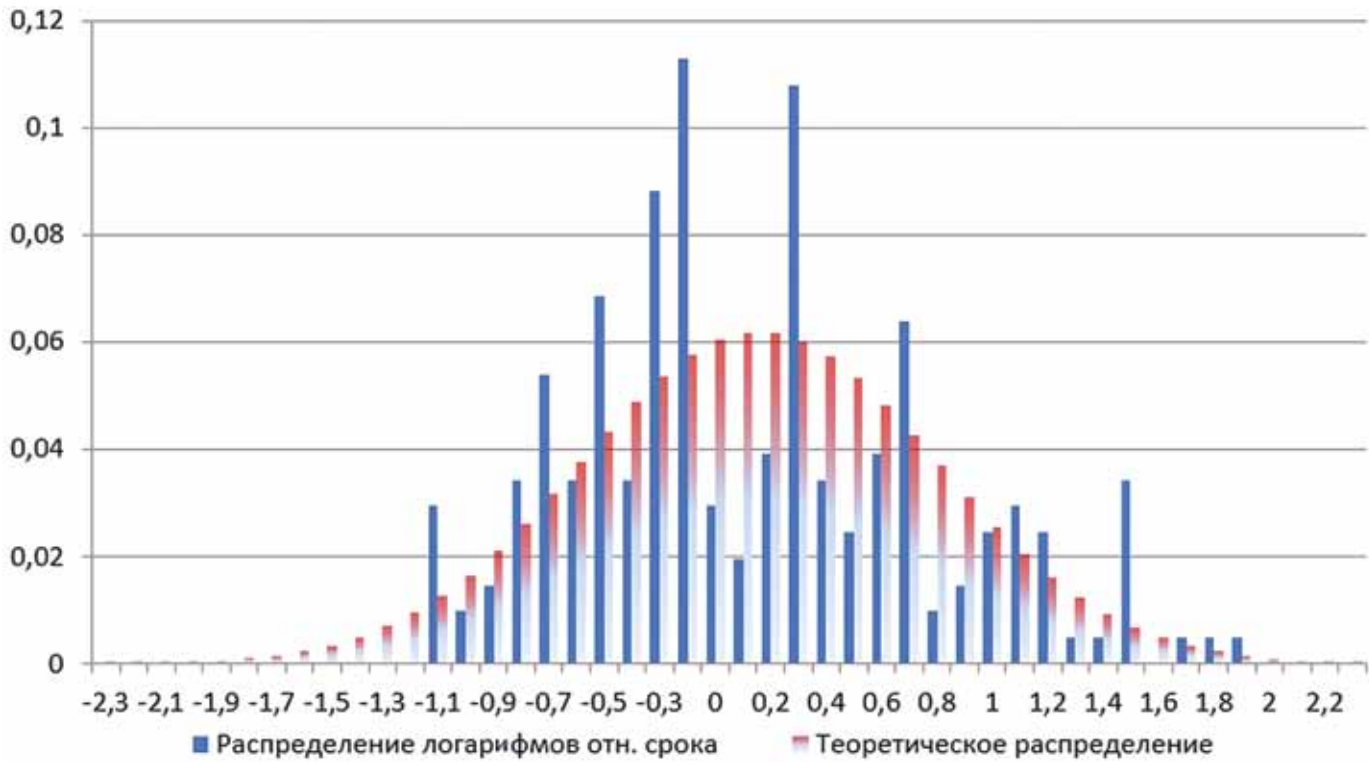


Рис. 2. Распределение логарифма относительной длительности арматурных работ (только первое подмножество)
Fig. 2. Distribution of the logarithm of the relative duration of reinforcement work (only the first subset)

точно в срок. Ещё 6 работ (1,4 %) имели относительную длительность в диапазоне 0,97–1,03, что указывает на сдачу практически в плановый срок. Эти работы были отнесены ко второму подмножеству, которое считается практически детерминированным, независимо от причин, обеспечивших своевременное выполнение. Аналогичное разделение на подмножества наблюдается и для других видов работ (рисунок 1).

Первое подмножество, включающее 204 работы, было проанализировано на предмет закона распределения. Среднее значение оказалось равно 1,298, а среднеквадратичное отклонение – 0,933. После разбиения значений на интервалы длиной 0,1 расчётное значение χ^2 получилось 885. Критическое значение χ^2 при 201 степени свободы и уровне значимости 0,05 составляет 169. Превышение расчётного значения над критическим свидетельствует о том, что гипотеза о нормальном распределении не подтверждается.

Для проверки гипотезы о логнормальном распределении первого подмножества была проанализирована нормальность распределения логарифма относительной длительности. Полученное значение χ^2 (96,2) оказалось меньше критического значения $\chi^2_{кр}$ (169), а критическое значение $\chi^2_{кр}$ по-прежнему равно 169, что подтверждает гипотезу о логнормальном распределении. На рисунке 1 представлено сравнение фактического и теоретического распределений для всей выборки, а на рисунке 2 – для первого подмножества.

Как видно на рисунках 1 и 2, разбиение совокупности на два подмножества позволяет сделать более чёткий вывод о форме распределения вероятности длительности работ [15]. По другим видам работ также подтверждается гипотеза о логнормальном распределении (таблица 2).

Обсуждение

В таблице 2 логнормальное распределение при уровне значимости $p = 0,95$ подтвердилось для 8 из 12 типов работ (выделено жирным шрифтом). Для остальных 4 типов работ ни одна из гипотез (ни нормальная, ни логнормальная) не подтвердилась. Однако во всех случаях

Тип работ	Критерий χ^2 для нормального распределения	Критерий χ^2 для логнормального распределения	Критическое значение $\chi^2_{кр}$ для $p = 0,95$
Монтаж технологических систем	374,38	58,60	123,60
Молниезащита и заземление	155,79	62,95	36,44
Монтаж металлоконструкций	612,61	48,88	137,21
Электромонтажные работы	32,59	22,61	49,16
Монтаж вентиляции	198,28	35,24	38,12
Бетонирование	1465,86	107,68	351,82
Монтаж АСУ ТП	187,06	154,54	188,51
Устройство гермооблицовки	197,72	35,32	2,17
Армирование конструкций	884,67	96,27	169,20
Устройство гидроизоляции	3392,73	67,12	74,40
Монтаж грузоподъёмных механизмов	183,04	51,83	16,15
Земляные работы	804,87	43,89	14,61

Табл. 2. Анализ статистических гипотез по данным первых подмножеств
Tab. 2. Analysis of statistical hypotheses based on the data of the first subsets

значение критерия χ^2 для логнормального распределения было ниже, чем для нормального, указывая на большую достоверность логнормального распределения. Поэтому для всех рассмотренных типов работ рекомендуется использовать логнормальное распределение для моделирования фактической длительности.

Для получения распределения случайной величины продолжительности строительства авторами исследования применяется программный комплекс Monte-Carlo Network с использованием одноименного метода.

На начальном этапе нужно собрать и подготовить необходимые исходные данные для проведения расчёта.

Анализ опирается на график производства работ, в котором указаны названия работ, их даты начала и окончания, а также взаимосвязи между ними (предшественники и последователи). График построен на основе метода критического пути, который определяет кратчайший срок выполнения проекта и обеспечивает его завершение в заданное время, выделяя последовательность наиболее важных работ.

В расчёте участвуют данные из таблицы 1 о вероятности превышения плановых сроков работ графика сооружения в соответствии с их типом.

Исследование показало, что продолжительность строительства в целом также может быть описана логнормальным распределением. С использованием электронных таблиц, методом наименьших квадратов, были подобраны параметры логнормального распределения для всей совокупности исследованных работ. Полученные параметры распределения относительной продолжительности составили: $\mu = 0,092$ и $\sigma = 0,096$. И они также используются для задания параметров расчёта в программе Monte-Carlo Network в качестве математического ожидания и среднего отклонения.

Заключение

Анализ данных о продолжительности различных строительных работ показал, что вероятность превышения фактического времени выполнения над плановым в среднем превышает 30 %. При этом для простых работ (например, земляных и монтажа грузоподъёмных механизмов) риск несоблюдения сроков ниже, чем для сложных (например, монтажа систем оборудования, электромонтажных работ и бетонирования).

В то же время если фактический срок выполнения работ не совпадает с плановым, то относительная задержка по времени оказывается больше у относительно простых, но объёмных работ. К таким работам относятся, например, арматурные и бетонные работы, а также устройство гидроизоляции.

Исходя из этого, при анализе и моделировании продолжительности строительных работ важно отдельно определять математическое ожидание и коэффициент вариации. Эти показатели могут иметь различное соотношение для разных типов работ.

Хотя форма распределения не всегда чётко выражена из-за резкого пика в районе плановой продолжительности, исследование показывает, что длительность строительных работ лучше описывается логнормальным, а не нормальным распределением. Это связано с тем, что фактическое время выполнения не может быть меньше нуля, но может быть значительно больше запланированного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесниченко, В. С. Особенности управления проектом строительства атомной электростанции / В. С. Колесниченко // Современные методы организации и управления строительством : Сборник статей молодых учёных, аспирантов, молодых специалистов, студентов, Санкт-Петербург, 21 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 20–26.
2. Соловьёва, А. П. Влияние задержек в строительстве АЭС на эффективность инвестиций / А. П. Соловьёва, В. В. Харитонов, О. Г. Шмаков. – DOI 10.26583/npe.2018.3.05 // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2018. – № 3. – С. 52–62.
3. Maronati, G. Explaining large observed variation in construction cost of nuclear power plants through correlated random variables / G. Maronati, B. Petrovic. – DOI 10.1016/j.pnucene.2018.11.011 // Progress in Nuclear Energy. – 2019. – Vol. 111. – Pp. 211–222.
4. Пономарёва, С. В. Моделирование рисков, влияющих на несвоевременное завершение гражданского и промышленного строительства в Российской Федерации / С. В. Пономарёва, А. А. Жигит, С. А. Лошкин // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 7-2. – С. 82–90.
5. Критический анализ методов управления продолжительностью строительства / А. З. Ефименко, О. Н. Кузина, Е. Н. Куликова, В. М. Ройтман // Наука и бизнес: пути развития. 2019. – № 11 (101). – С. 50–55.
6. Воронков, И. Е. Классификация и анализ основных работ при строительстве атомных электростанций / И. Е. Воронков, Р. В. Островский // Промышленное и гражданское строительство, 2023. – № 10. – С. 111–116.
7. Сандан, Р. Н. Календарное планирование СМР на уровне простых технологических процессов / Р. Н. Сандан, М. М. Ка-

- люжнюк // Вестник Тывинского государственного университета. № 3 Технические и физико-математические науки. – 2014. – № 3 (22). – С. 63–78.
8. Алгоритмизация систем планирования, управления и обработки информации в строительстве / И. Л. Киевский, С. В. Аргунов, Я. В. Жаров, А. Ю. Юргайтис. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.11.14-24 // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 11. – С. 14–24.
9. Изгородина, О. В. Управление рисками в календарно-сетевом планировании при строительстве промышленных объектов / О. В. Изгородина // Синергия наук. – 2020. – № 52. – С. 387–396.
10. Морозенко, А. А. Современные подходы к оценке надёжности предприятий, участвующих в реализации инвестиционно-строительных проектов / А. А. Морозенко, И. Е. Воронков // Научное обозрение. – 2017. – № 12. – С. 123–128.
11. Сират, Д. Анализ и оценка повышения организационно-технологической надёжности строительства / Д. Сират // Инновационная наука. – 2023. – № 2-1. – С. 40–45.
12. Ostrovskii, R. Development of a Model for Managing the Terms of NPP Construction Projects Based on Production Control / R. Ostrovskii. – DOI 10.1007/978-3-030-96206-7_42 // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 231. – Pp. 405–413.
13. Калугин, Ю. Б. Универсальный метод оценки сроков выполнения проекта с вероятностными временными параметрами / Ю. Б. Калугин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 1 (673). – С. 44–52.
14. Gorbaneva, E. P. BIM technologies to optimize the catch-up schedule for the implementation of the construction schedule plan, taking into account external stochastic impacts / E. P. Gorbaneva, A. V. Mishchenko // Real Estate: Economics, Management. – 2022. – No. 1. – P. 58–67.
15. Леман, Э. Л. Проверка статистических гипотез / Э. Л. Леман. – Пер. с англ. Ю. В. Прохорова. – Москва : Наука, 1964. – 500 с.

REFERENCES

1. Kolesnichenko, V. S. Osobennosti upravleniya proektom stroitel'stva atomnoj ehlektrostantsii [Features of project management for the construction of a nuclear power plant] / V. S. Kolesnichenko // Sovremennye metody organizatsii i upravleniya stroitel'stvom : Sbornik statej molodykh uchyonikh, aspirantov, molodykh spetsialistov, studentov, Sankt-Peterburg, 21 aprelya 2020 goda [Modern methods of organization and management of construction : A collection of articles by young scientists, graduate students, young specialists, students, St. Petersburg, April 21, 2020]. – Saint Petersburg : Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet [Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering], 2020. – Pp. 20–26.
2. Solovieva, A. P. Vliyanie zaderzhek v stroitel'stve AES na ehffektivnost' investitsij [The impact of delays in the construction of nuclear power plants on the effectiveness of investments] / A. P. Solovieva, V. V. Kharitonov, O. G. Shmakov. – DOI 10.26583/npe.2018.3.05 // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Yadernaya ehnergetika [News of higher educational institutions. Nuclear Energy]. – 2018. – No. 3. – Pp. 52–62.
3. Maronati, G. Explaining large observed variation in construction cost of nuclear power plants through correlated random variables / G. Maronati, B. Petrovic. – DOI 10.1016/j.pnucene.2018.11.011 // Progress in Nuclear Energy. – 2019. – Vol. 111. – Pp. 211–222.
4. Ponomareva, S. V. Modelirovanie riskov, vliyayushhikh na nesvoevremennoe zavershenie grazhdanskogo i promyshlennogo stroitel'stva v Rossijskoj Federatsii [Modeling the risks affecting the timely completion of civil and industrial construction in the Russian Federation] / S. V. Ponomareva, A. A. Zhigiti, S. A. Loshkin // Vestnik Altajskoj akademii ehkonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. –

2019. – No. 7-2. – Pp. 82–90.
5. Kriticheskij analiz metodov upravleniya prodolzhitel'nost'yu stroitel'stva [Critical analysis of modern time management methods in construction] / A. Z. Efimenko, O. N. Kuzina, E. N. Kulikova, V. M. Roitman // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: ways of development]. – 2019. – No. 11 (101). – Pp. 50–55.
6. Voronkov, I. E. Klassifikatsiya i analiz osnovnykh rabot pri stroitel'stve atomnykh ehlektrostantsij [Classification and Analysis of the Main Works in the Construction of Nuclear Power Plants] / I. E. Voronkov, R. V. Ostrovsky // Promishlennoe i grazhdanskoje stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2023. – No. 10. – Pp. 111–116.
7. Sandan, R. N. Kalendarnoe planirovanie SMR na urovne prostykh tekhnologicheskikh protsessov [Scheduling of construction works at the level of simple technological processes] / R. N. Sandan, M. M. Kalyuzhnyuk // Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki [Bulletin of Tyva State University. No. 3 Technical and physico-mathematical sciences]. – 2014. – No. 3 (22). – Pp. 63–78.
8. Algoritmizatsiya sistem planirovaniya, upravleniya i obrabotki informatsii v stroitel'stve [Algorithmization of planning, management and information processing systems in construction] / I. L. Kievsky, S. V. Argunov, Ya. V. Zharov, A. Yu. Yurgaitis. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.11.14-24 // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil engineering]. – 2022. – No. 11. – Pp. 14–24.
9. Izgorodina, O. V. Upravlenie riskami v kalendarno-setevom planirovanii pri stroitel'stve promyshlennykh ob'ektov [Risk management in calendar-network planning in the construction of industrial facilities] / O. V. Izgorodina // Sinergiya nauk [Synergy of Sciences]. – 2020. – No. 52. – Pp. 387–396.

10. Morozenko, A. A. Sovremennye podkhody k otsenke nadyozhnosti predpriyatij, uchastvuyushhikh v realizatsii investitsionno-stroitel'nykh proektov [Modern approaches to assessing the reliability of enterprises involved in the implementation of investment and construction projects] / A. A. Morozenko, I. E. Voronkov // Nauchnoe obozrenie [Scientific review]. – 2017. – No. 12. – Pp. 123–128.
11. Sirat, D. Analiz i otsenka povysheniya organizatsionno-tekhnologicheskoy nadyozhnosti stroitel'stva [Analysis and evaluation of improving the organizational and technological reliability of the construction of facilities] / D. Sirat // Innovatsionnaya nauka [Innovative Science]. – 2023. – No. 2-1. – Pp. 40–45.
12. Ostrovskii, R. Development of a model for managing the terms of NPP construction projects based on production control / R. Ostrovskii. – DOI 10.1007/978-3-030-96206-7_42 // Lecture

УДК 69.009.1

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_67

Предпроектная подготовка строительства объектов социальной сферы

Pre-Project Preparation of Social Sphere Facilities

Олейник Павел Павлович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, cniomtp@mail.ru

Oleinik Pavel Pavlovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies and Organisation of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, cniomtp@mail.ru

Гречаниченко Александр Анатольевич

Аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, grecha.project@yandex.ru

Grechanichenko Alexander Anatolyevich

Postgraduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, grecha.project@yandex.ru

Аннотация. Объекты строительства, относящиеся к социальной сфере, – неотъемлемая и важная часть нашего жизненного пространства, и трудно переоценить влияние, которое они способны оказать на человека. Создание таких объектов является наиболее творческим, субъективным процессом в строительной индустрии. В данной статье попытаемся осветить предпосылки и практику создания, рассмотреть теоретические основы и возможные способы определения потребности в такого рода объектах.

Проектирование объектов социальной сферы имеет ряд особенностей, и проявляются они ещё на стадии предпроектной подготовки. Особую роль на этапе предпроектной подготовки играет вовлечённость в процесс разработки и взаимодействие всех участников процесса, в том числе застройщика,

Abstract. Social facilities are an integral and very important part of our living space and it is difficult to overestimate the impact they have on people. Creation of such objects is the most subjective and creative process in the construction industry. In this article we will try to highlight the prerequisites and practices for the creation, consider the theoretical basis and methods of determining the need for this kind of objects.

Designing social sphere objects has a number of peculiarities, and they begin at the stage of pre-project preparation. A special role at the stage of pre-design preparation is played by the involvement in the development process and interaction of all participants of the process, including the developer, technical

- Notes in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 231. – Pp. 405–413.
13. Kalugin, Yu. B. Universal'nyj metod otsenki srokov vypolneniya proekta s veroyatnostnymi vremennymi parametrami [Universal method of computing finish time for networks with imprecise durations] / Yu. B. Kalugin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo [News of higher educational institutions. Construction]. – 2015. – No. 1 (673). – Pp. 44–52.
 14. Gorbaneva, E. P. BIM technologies to optimize the catch-up schedule for the implementation of the construction schedule plan, taking into account external stochastic impacts / E. P. Gorbaneva, A. V. Mishchenko // Real Estate: Economics, Management. – 2022. – No. 1. – P. 58–67.
 15. Lehmann, E. L. Testing Statistical Hypotheses / E. L. Lehmann. – New York : John Wiley & Sons, Inc. ; London : Chapman & Hall, Liited, 1964. – 500 p.

технического заказчика, органов власти и конечного пользователя объекта, а также, возможно, представителей проектировщика и подрядной организации. Это многоитерационный процесс, и пробелы, допущенные на стартовом этапе, могут создать значительные проблемы на всех последующих этапах жизненного цикла. Постараемся раскрыть ряд особенностей на этапах предпроектной подготовки, в том числе обоснование потребности и целесообразности строительства, разработки технического и технологического задания, а также обозначить самые острые и важные проблемы данного направления строительства.

Ключевые слова: объекты социальной сферы, проектирование, предпроектная подготовка, технологическое задание.

customer, authorities and the end user of the object, as well as possibly representatives of the designer and contractor organisation. This is a multi-iteration process and gaps made at the initial stage can create significant problems at all subsequent stages of the life cycle. We will try to reveal a number of peculiarities at the stages of pre-project preparation, including justification of the need and feasibility of construction, development of technical and technological assignment, as well as identify the most acute and urgent problems of this area of construction.

Keywords: social facilities, design, pre-project preparation, technological assignment.

Введение

В 2023 году в России было построено 110,44 млн кв. м жилья – это рекордный показатель на этот период за всю историю, включая период СССР, и в планах Министерства строительства – постоянно наращивать данный показатель. Правовое регулирование обязывает обеспечить социальную защиту населения, которое будет проживать в построенном жилье, создать комфортную среду для полного обеспечения благополучия населения и удовлетворения социальных потребностей. То есть необходимо, помимо жилья, обеспечить как новые застройки, так и сложившиеся территории объектами социальной сферы [1]. Объектами социальной сферы являются образовательные учреждения, объекты культурного назначения, здравоохранения, социального обеспечения, физической культуры, общественного питания, коммунального обслуживания, пассажирского транспорта, связи и, конечно, защиты населения от чрезвычайных ситуаций, то есть те, что обеспечивают устойчивость человеческой деятельности и безопасного, комфортного развития общества.

Градостроительное регулирование обязывает застройщиков при строительстве жилых кварталов обеспечить защиту населения в социальном плане, и на стадии заключения инвестиционных контрактов застройщику вменяется, помимо жилой застройки, строительство объектов социального обеспечения. Но полностью переложить бремя строительства социальных объектов на застройщика невозможно по нескольким причинам, которые более подробно опишем ниже. Основную ответственность за обеспечение социальными объектами несут органы государственной, региональной и муниципальных властей. Именно они определяют потребность в социальных объектах на основании нормативных документов или прямым расчётом – с учётом уникальных условий каждого конкретного случая, в зависимости от региональных особенностей, развития социальной инфраструктуры и положения в плане материально-технической базы, имеющихся финансовых, материальных и трудовых ресурсов [2–4].

Материалы и методы

Предпосылками для обращения к вопросам изучения процессов проектирования учреждений социального назначения послужило большое количество начатых, но не введённых в эксплуатацию объектов за последние годы. Элементарный мониторинг госзакупок по 44-му и 223-му федеральным законам показывает, что предметом разыгрываемых контрактов на проектирование служит корректировка ранее выпущенной документации, а не новое проектирование объектов социальной сферы. В некоторые периоды времени количество разыгрываемых контрактов на корректировку проектной документации превышает количество контрактов на новое проектирование аналогичных объектов, что говорит о системной проблеме в данной сфере.

Общение с представителями власти и руководителями ведомств, ответственными за строительство объектов социальной сферы, также выявило признаки обеспокоенности данным вопросом – выходит на поверхность системный кризис в данном направлении строительной отрасли. Например, в Федеральном медико-биологическом агентстве Российской Федерации, подведомственные организации которого являются застройщиками по объектам здравоохранения своих объектов, на данный момент

27 объектов незавершённого строительства (на разных этапах – от проектирования до ввода в эксплуатацию), при том что в год вводится не более 3–4 объектов капитального строительства в их ведомстве. Сроки от приказа на создание объекта до ввода его в эксплуатацию зачастую превышают 10 лет! От строительства некоторых объектов приходится отказываться, или эти проекты отправляют на очередную корректировку, так как за такой период их актуальность пропадает из-за динамично меняющейся структуры потребностей в системе здравоохранения и из-за развития новых технологий, особенно в области оказания специализированных медицинских услуг (например, в лечении онкологических заболеваний). Темпы развития технологий нередко превышают практические сроки строительства объектов.

Общение с руководителями ведущих проектных институтов, специализирующихся на объектах социальной сферы, также указывает на остроту возникающих вопросов в данной сфере. Объём работ по корректировке ранее выпущенных проектов превышает проектирование новых объектов социальной сферы, в наибольшей степени это относится к объектам, строительство которых ведётся за счёт государственных бюджетных средств. При инвестиционном финансировании частными застройщиками эти проблемы не так сильно выражены.

Даже первичный и поверхностный обзор строительства объектов социальной сферы выявляет наличие системных проблем в этой отрасли и диктует необходимость изучения и анализа аспектов, приведших к сложившейся ситуации. Надеемся, применение научного подхода позволит улучшить ситуацию в сфере строительства социальных объектов. Постараемся создать методику на основе выявления факторов риска, возникающих на различных этапах жизненного цикла объектов социальной сферы, и решить основополагающие вопросы, помогающие управлять рисками при организации строительства.

В настоящее время наша страна сделала большие шаги в области градостроительного регулирования. Были применены комплексные подходы к решению вопросов и приняты законодательные акты на уровне разных министерств и ведомств, обеспечивающих правовое регулирование в сфере градостроительства. И результаты не заставили себя ждать. В 2023 году в нашей стране было построено более 110 миллионов квадратных метров жилья. При этом в России наиболее жёсткий процесс регулирования строительства на законодательном уровне, что является наследием практики планирования экономики времён СССР. Такой подход у нас закрепился, показывает достаточно неплохие результаты и имеет как ряд весомых преимуществ, так и ряд существенных недостатков. Из преимуществ – это отличные результаты в обеспечении социальных потребностей населения в целом, они на порядок превосходят достижения большинства стран мира в этой области. К недостаткам относятся финансовая неэффективность, существенная бюрократизация и инерционность, «неповоротливость» системы в целом, так как для её настройки под скоротечно меняющиеся обстоятельства в условиях быстрого развития жизни требуется задействование большого количества участников в различных профильных министерствах и ведомствах, а излишняя бюрократизация приводит к затягиванию сроков при реализации поставленных задач.

Опыт развития социального обеспечения в различных странах мира существенно различается [5; 6]. Но в целом российские системы социального обеспечения населения существенно превосходят даже самые развитые страны мира, не говоря уже о развивающихся странах. Системы здравоохранения, образования, культуры, спорта, социального обеспечения, транспорта и связи хорошо развиты и превосходят по своим показателям мировые, несмотря на наличие определённых проблем, которые, конечно, необходимо решать. В странах Европейского союза более простой подход к обеспечению населения социальной инфраструктурой: нет такого жёсткого нормативного регулирования, и выстроившаяся система социального обеспечения в большей степени переведена в коммерческие услуги, переложена на плечи бизнеса. Это в большей степени относится к медицине (особенно к оказанию узконаправленной медицинской помощи), профильному образованию и во многом спорту. Однако при этом она может быстро подстраиваться под изменяющиеся условия жизни, активнее внедрять новые технологии, так как это финансово эффективно, и коммерческие структуры быстрее перестраиваются в условиях сниженной бюрократической нагрузки и давления нормативной правовой базы [7; 8].

Результаты

В России строительство регулируется Градостроительным кодексом Российской Федерации. При разработке градостроительной документации по планировке территорий необходимо выполнить предварительную оценку градостроительного потенциала территорий, осуществить разработку планов реализации проектов планировок территорий, включая оценку коммерческой, бюджетной и социально-экономической эффективности реализации мероприятий градостроительного развития. На основании этого определяется потребность в объектах социального обеспечения населения [9].

Часть нагрузки по строительству объектов социальной сферы может взять на себя частный застройщик при комплексной застройке территории за счёт части прибыли из средств, полученных от коммерческой продажи недвижимости. Такая практика используется повсеместно и вполне эффективна, так как имеет прозрачные понятные условия её реализации. Застройщик за счёт построенных метров жилого фонда добавляет нагрузку на социальную сферу муниципалитета и, соответственно, региона, в котором происходит строительство, и при расчёте натуральных показателей компенсирует часть нагрузки за счёт строительства социальных объектов на данной территории. При этом обременения по строительству социальных объектов включаются в инвестиционный контракт застройщика вместе со строительством жилого фонда и коммерческой недвижимости [10].

Однако всю социальную нагрузку по обеспечению социальными объектами невозможно переложить на застройщиков. Хотя этот путь показал наибольшую эффективность в решении такого рода вопросов, так как застройщик строит на свои или заёмные средства и максимально тщательно просчитывает риски реализации проекта. При выявлении существенных рисков при реализации проекта он отказывается от заключения инвестиционного контракта или меняет его условия в сторону минимизации рисков до подписания. Застройщик имеет

определённые показатели прибыли от реализации жилой и коммерческой недвижимости, и его финансовые ресурсы ограничиваются этим и рядом других факторов.

Таким образом, существенная часть нагрузки по строительству объектов социальной сферы ложится на органы государственной, региональной и муниципальной власти, которые передают обязанности по строительству социальных объектов соответствующим подведомственным специализированным организациям, выполняющим функции застройщика и (или) технического заказчика, или заключают договора концессии (государственно-частного партнёрства) с частными специализированными организациями.

Предпроектная подготовка – это не очень заметный, но очень важный этап жизненного цикла объектов социальной сферы. Ошибки, сделанные на этом этапе, будут проецироваться на протяжении всего срока жизни объекта, а в некоторых случаях могут привести к ситуации останки проекта, не доведя до его реализации.

Правительством РФ утверждены правовые акты, на основании которых применяются методики и осуществляется расчёт по обеспечению потребности в основных объектах социального назначения: ПП РФ № 1683-р от 19 октября 1999 г. «Методические подходы к определению нормативной потребности субъектов Российской Федерации в объектах образования, здравоохранения, физической культуры и спорта, культуры и искусства». Субъекты Российской Федерации на основании данных методических рекомендаций могут самостоятельно определять возможности применения рекомендуемых нормативов в зависимости от региональных особенностей, сложившегося уровня развития здравоохранения и состояния материально-технической базы отрасли, уровня здоровья населения, также имеющихся финансовых, материальных и трудовых ресурсов или пользоваться прямым расчётом.

На примере методики расчётов объектов здравоохранения приведём этапы определения потребности в объектах здравоохранения и формировании сети лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) в субъекте Российской Федерации:

1. Аналитический. Данный этап подразумевает оценку существующей системы здравоохранения и эффективность действующей сети лечебно-профилактических учреждений. Оценка производится по нескольким параметрам, таким как доступность для населения, стоимость оказания услуг, логистическое удобство, наличие очередей, качество медицинской помощи по видам услуг, уровням оказания помощи, возможность получения специализированной и узконаправленной помощи, соответствие фактических показателей территориальным нормативам, загруженность существующих мощностей по видам, профилям и уровням медицинской помощи, в том числе в разрезе муниципальных образований. Возведение новых объектов здравоохранения должно отвечать потребностям и планам перспективного развития конкретной территории.

2. Расчёт территориальных нормативов объёмов медицинской помощи. Данные расчёты можно производить методом прямого пересчёта и на основе нормативных документов. Наличие данных статистики о потребности в медицинской помощи по конкретному территориально-

му образованию может дать основу для применения метода прямого расчёта. Государственные гарантии оказания бесплатной медицинской помощи дали возможность разработки основы для создания правовой базы территориальных нормативов для обоснования экономической и практической потребности в строительстве лечебно-профилактических учреждений. Кроме того, расчёт может производиться с использованием территорий – аналогов.

3. Выявление потребности в объектах охраны здоровья. Создание математической модели востребованности сети ЛПУ и определение потребности в объектах. На основании нормативных и фактических объёмов оказания медицинской помощи населению формируется расчётная модель территориальной сети лечебно-профилактических учреждений. Учитываются сложившиеся условия, и осуществляется коррекция под конкретные требования. Расчёты проводятся дифференцированно, отдельно считается потребность для взрослого населения, отдельно – для детского.

Расчёт сети амбулаторно-поликлинических учреждений. При расчёте общей мощности амбулаторно-поликлинических учреждений проводится умножение нормативов посещений, рассчитанных на население в количестве тысячи человек, на реальную численность населения. Учитывается, что 307 из 365 дней в году работают поликлиники, и первая смена принимает не менее 60 процентов посещений.

4. Разработка плана и программы реформирования сети ЛПУ. Медицинская статистика позволяет делать выводы и анализировать, насколько действующая на конкретном территориальном образовании система здравоохранения отвечает потребностям и запросам населения, а также спрогнозировать необходимость, время и вектор развития. Соответственно, на основе этих данных можно разработать план развития и программу реформирования существующей сети лечебно-профилактических учреждений.

Обоснование объекта утверждается органами власти, ответственными за профильное направление в данной области, и после начинается конкретная работа по определению параметров объекта. На данном этапе осуществляется выбор предполагаемого земельного участка строительства.

Обсуждение

1. Разработка технологического задания.

Технологическое задание существенно отличается от технического задания на проектирование [11]. Технологическое задание должно содержать требования по тому профилю, к которому оно относится, исходя из параметров, определённых при обосновании строительства объекта, и не имеет чётко утверждённой формы. Это связано с отсутствием унификации, так как объекты сильно разнятся в зависимости от сферы социального направления.

Разработку технологического задания должны вести профильные ведомства, но при этом согласовывая свои решения со строительным комплексом. Например, технологическое задание на разработку детского образовательного учреждения должно вести Министерство образования (или департамент образования в муниципалитете), но оно должно согласовываться с Министерством строительства (управлением строительства) и также рядом других

ведомств, имеющих отношение к решению данных социальных вопросов, например департаментом соцзащиты, который должен предусмотреть выполнение своих обязательств по обеспечению доступности для маломобильных групп населения.

Это очень многогранная работа с большим количеством участников и ответственных лиц. И то, насколько качественно она проделана, во многом определяет качество и скорость достижения конечного результата. Поскольку количество участников велико, возможен конфликт интересов, а также выставление противоречащих друг другу требований. Для достижения хорошего результата необходима хорошая коммуникация между ведомствами и важна скорость передачи информации. В современных условиях мирового развития и цифровизации общества, возможно, хорошим решением было бы создание программного комплекса, позволяющего решить возникающие в этом виде деятельности проблемы путём включения основных алгоритмов действий и облегчающего коммуникацию ведомств между собой. При использовании информационных технологий возможно создать единую информационную среду для работы всех участников процесса, облегчить коммуникацию и ввести единые графики выполнения поставленных задач.

Результатом должно служить чётко сформулированное технологическое задание с указанием мощности объекта, с детализацией по подразделениям объекта, вплоть до покомнатного перечня требуемых помещений, с указанием их особенностей и характеристик. Также задание должно содержать состав и требования к количеству и качеству персонала (штатную численность) с разделением по сменам и режиму работы. Необходимо понимать специфику технологического оснащения оборудованием, особенности инвентаря и требования к нему. Применительно к объектам здравоохранения разрабатывается медико-технологическое задание с указанием профиля ЛПУ, количеством, наполнением и предназначением медицинских отделений, штатным расписанием и перечнем необходимого медико-технологического оборудования.

2. Техническое задание.

Застройщик (в частных случаях технический заказчик) несёт ответственность за подготовку задания на проектирование, которое так же, как и технологическое задание, подлежит согласованию в ведомствах, соответствующих профилю объекта. Проект задания на проектирование подлежит согласованию с руководителем органа, выделяющего средства на строительство объекта.

Техническое задание [12] содержит чёткие указания по требуемым техническим характеристикам и инженерным особенностям и, как правило, в России составляется по форме, утверждённой Минстроем (в частности, приказ № 307/пр от 21.04.2022 года). Задание на проектирование включает в себя исходные данные, которые в полной мере содержат данные, необходимые для разработки проектной документации в соответствии с требованиями о составе и содержании разделов проекта.

На основании технологического задания, если полнота его наполнения достаточна, можно определить прогнозируемые технико-экономические показатели объекта с большой долей точности, уже не только на основании укрупнённых показателей, но и детального расчёта, при этом показатели могут уточняться в ходе проектирования,

но отличие от закладываемых параметров будет не велико. Можно посчитать полезную и общую площадь, строительный объём, нагрузку на сети инженерного обеспечения, потребление ресурсов и количество отходов. Данные параметры ложатся в основу технического задания на проектирование. Также техническое задание включает в себя исходно-разрешительную документацию, которую получают на этапе его разработки.

3. Задание на проектирование состоит из 3 блоков:

- общие данные;
- требования к проектным решениям;
- иные требования к проектированию.

Так же как и технологическое задание, при разработке технического задания на проектирование задействовано большое количество участников и действующих лиц. Значительную роль в оптимизации и ускорении разработки может сыграть создание программного комплекса, позволяющего решить возникающие в этом виде деятельности проблемы путём включения основных алгоритмов действий и облегчающего коммуникацию ведомств между собой. Использование информационных технологий позволит создать единую информационную среду для рабо-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белиба, В. Ю. Архитектура зданий / В. Ю. Белиба, А. Т. Юханова. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2009. – 218 с.

2. Szostak, M. Technology and Management Applied in Construction Engineering Projects / M. Szostak, J. Konior, M. Sawicki. – DOI 10.3390/books978-3-0365-6040-3. – Poland : MDPI, 2022. – 314 p.

3. Rawai, M. A Review of Project and Programme Management Reference Models for the Construction Industry / M. Rawai, M. Norshakila, M. Syazli. – DOI <https://doi.org/10.5923/s.ijcem.201309.04> // International Journal of Construction Engineering and Management. – 2013. – Vol. 2, Iss. 4A. – Pp. 17–20.

4. Berg, S., Persson, S. Construction Management in practice – Perspectives of CM utilization in Sweden : Master of Science Thesis in the Master's Programme / Sandra Berg, Sandra Persson ; Chalmers University of Technology. – Chalmers, Sweden, 2013. – URL: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/182037/182037.pdf>.

5. Chinowsky, P. S. Organization management in construction / P. S. Chinowsky, A. D. Songer. – 1st Edition. – New York, NY : Spon Press, an imprint of Taylor & Francis, 2011. – 216 p. – URL: [lcp:organizationmana0000unse_a5y9:epub:7cc72722-83b8-4e39-b0a5-4621aa0a775a](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10804010903254444).

6. Langford, D. The Organization and Management of Construction: Managing the construction enterprise / D. Langford, A. Retik. –

REFERENCES

1. Beliba, V. Yu. Arkhitektura zdaniy [Architecture of buildings] / V. Yu. Beliba, A. T. Yukhanova. – Rostov-na-Donu : Phoenix, 2009. – 218 p.

2. Szostak, M. Technology and Management Applied in Construction Engineering Projects / M. Szostak, J. Konior, M. Sawicki. – DOI 10.3390/books978-3-0365-6040-3. – Poland : MDPI, 2022. – 314 p.

3. Rawai, M. A Review of Project and Programme Management Reference Models for the Construction Industry / M. Rawai, M. Norshakila, M. Syazli. – DOI <https://doi.org/10.5923/s.ijcem.201309.04> // International Journal of Construction Engineering and Management. – 2013. – Vol. 2, Iss. 4A. – Pp. 17–20.

4. Berg, S., Persson, S. Construction Management in practice – Perspectives of CM utilization in Sweden : Master of Science Thesis in the Master's Programme / Sandra Berg, Sandra Persson ; Chalmers University of Technology. – Chalmers, Sweden,

ты всех участников процесса, облегчить коммуникацию и ввести единые графики выполнения поставленных задач.

Застройщик утверждает задание на проектирование (в частных случаях – технический заказчик) после проведения технического, технологического и ценового аудита. Это процесс обоснования инвестиций. Ценовой аудит – это проведение финансово-экономической оценки заявленной стоимости объекта экспертами.

Заключение

Предпроектная подготовка – это очень многогранный процесс, в котором задействовано большое количество участников с различной степенью участия и ответственности. Работа участников требует управления, координации и систематизации для получения положительного результата. Ошибки при предпроектной подготовке будут проецироваться в дальнейшем на каждый этап жизненного цикла объекта, поэтому важно их избежать или минимизировать. Для минимизации ошибок требуется высокий уровень профессионализма, опыта и синхронизации участников процесса. Возможно задействование информационной системы моделирования для снижения рисков и оптимизации работы в данном направлении.

DOI <https://doi.org/10.4324/9780203477083>. – 1st Edition. – London : Routledge, 1996. – 444 p.

7. Болотин, С. А. Организация строительного производства : учебное пособие для вузов / С. А. Болотин, А. Н. Вихров. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 203 с.

8. Гусакова, Е. А. Основы организации и управления в строительстве : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. Часть 2 / Е. А. Гусакова, А. С. Павлов. – Москва : Юрайт, 2021. – 116 с.

9. Вильчик, Н. П. Архитектура зданий : учебник / Н. П. Вильчик. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 319 с. – (Среднее профессиональное образование).

10. Батиенков, В. Т. Технология и организация строительства. Управление качеством в вопросах и ответах / В. Т. Батиенков, Г. Я. Чернобровкин, А. Д. Кирнев. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – (Среднее профессиональное образование).

11. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений : учебник для вузов / В. В. Адамович, Б. Г. Бархин, В. А. Варезкин, и др. ; под общ. ред. И. Е. Рожина, А. И. Урбаха. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1985. – 542 с.

12. Ананьин, М. Ю. Архитектурно-строительное проектирование производственного здания : учебник для среднего профессионального образования / М. Ю. Ананьин. – Москва : Юрайт ; Екатеринбург : Урал, 2024. – 216 с. – (Профессиональное образование).

2013. – URL: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/182037/182037.pdf>.

5. Chinowsky, P. S. Organization management in construction / P. S. Chinowsky, A. D. Songer. – 1st Edition. – New York, NY : Spon Press, an imprint of Taylor & Francis, 2011. – 216 p. – URL: [lcp:organizationmana0000unse_a5y9:epub:7cc72722-83b8-4e39-b0a5-4621aa0a775a](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10804010903254444).

6. Langford, D. The Organization and Management of Construction: Managing the construction enterprise / D. Langford, A. Retik. – DOI <https://doi.org/10.4324/9780203477083>. – 1st Edition. – London : Routledge, 1996. – 444 p.

7. Bolotin, S. A. Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva : uchebnoe posobie dlya vuzov [Organization of construction production : a textbook for universities] / S. A. Bolotin, A. N. Vikhrov. – 2nd ed., ster. – Moscow : Akademiiya Publ., 2008. – 203 p.

8. Gusakova, E. A. Osnovy organizatsii i upravleniya v stroitel'stve : uchebnik i praktikum dlya bakalavriata i magistratury. Chast' 2

[Fundamentals of organization and management in construction : textbook and practical course for bachelor's and master's degree programs. Part 2] / E. A. Gusakova, A. S. Pavlov. – Moscow : Yurait, 2021. – 116 p.

9. Wilchik, N. P. Arkhitektura zdaniy : uchebnik [Architecture of buildings : textbook] / N. P. Wilchik. Moscow : INFRA-M, 2020. – 319 p. – (Srednee professional'noe obrazovanie [Secondary vocational education]).

10. Batiukov, V. T. Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva. Upravlenie kachestvom v voprosakh i otvetakh [Technology and organization of construction. Quality management in questions and answers] / V. T. Batiukov, G. Ya. Chernobrovkin, A. D. Kirnev. Rostov-on-Don : Phoenix, 2007. (Srednee professional'noe obrazovanie [Secondary vocational education]).

11. Arkhitekturnoe proektirovanie obshhestvennykh zdaniy i sooruzhenij : uchebnik dlya vuzov [Architectural design of public buildings and structures : a textbook for universities] / V. V. Adamovich, B. G. Barkhin, V. A. Varezkin, and others; under the general editorship of I. E. Rozhin, A. I. Urbach. – 2nd ed., revised and add. – Moscow : Stroyizdat, 1985. – 542 p.

12. Ananyin, M. Y. Arkhitekturno-stroitel'noe proektirovanie proizvodstvennogo zdaniya : uchebnik dlya srednego professional'nogo obrazovaniya [Architectural and construction design of an industrial building: a textbook for secondary vocational education] / M. Y. Ananyin. – Moscow : Yurait ; Yekaterinburg : Ural, 2024. – 216 p. – (Professional'noe obrazovanie [Professional education]).

УДК 69.04 DOI: 10.54950/26585340_2025_1_72

Разработка методологии оценки зрелости технологии информационного моделирования на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства

Development of a Methodology for Assessing the Maturity of Information Modeling Technology at Various Stages of the Life Cycle of Capital Construction Projects

Загрудтинов Ильдaр Фаритович

Аспирант, Институт строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (ИСА УрФУ), Россия, 620062, Екатеринбург, улица Мира, 19, zif1977@mail.ru

Zagrutdinov, Ildar Faritovich

Postgraduate student, Institute of Construction and Architecture of the Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (ICA UrFU), Russia, 620062, Yekaterinburg, ulitsa Mira, 19, zif1977@mail.ru

Аннотация. Цель: разработка комплексной и детализированной методологии оценки зрелости технологии информационного моделирования (BIM) на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства (ЖЦОКС).

Методы: для достижения поставленной цели были использованы методы анализа существующих методологий, экспертных оценок, а также системного подхода.

Результаты: в рамках исследования разработана и применена новая методология оценки зрелости технологии информационного моделирования (BIM) на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства. Методология отличается структурированностью и детализацией, охватывает пять уровней зрелости и фокусируется на ключевых аспектах BIM для каждого этапа: предпроектной подготовки, проектирования, строительства, эксплуатации и сноса. Оценка зрелости проводилась с использованием балльной системы, при этом выявлено, что наиболее высокий уровень зрелости BIM достигнут на этапе проектирования (4,5 балла), что свидетельствует об эффективном использовании BIM для координации и обнару-

жения коллизий. Этапы предпроектной подготовки и строительства получили по 3,5 балла, этап эксплуатации показал самый низкий уровень зрелости – 2,5 балла, а этап сноса – 3,5 балла.

Выводы: исследование показало, что BIM наиболее эффективно используется на этапе проектирования, когда технология обеспечивает создание точной и полной модели, координацию и оптимизацию проектных решений. Вместе с тем выявлены зоны для развития на этапах предпроектной подготовки, строительства, эксплуатации и сноса. Низкий уровень зрелости BIM на этапе эксплуатации указывает на необходимость разработки стратегии использования BIM для управления зданием и энергоэффективностью. Полученные результаты подчёркивают важность комплексного подхода к внедрению и использованию BIM на всех этапах жизненного цикла объекта для повышения общей эффективности строительства и эксплуатации.

Ключевые слова: BIM, зрелость BIM, оценка зрелости, жизненный цикл, объект капитального строительства, методология оценки.

tion. The pre-design and construction stages received 3,5 points each, the operation stage showed the lowest maturity level (2,5 points), and the demolition stage – 3,5 points.

Conclusions: The study showed that BIM is most effectively used at the design stage, ensuring the creation of an accurate and complete model, coordination and optimization of design solutions. At the same time, areas for development were identified at the pre-design, construction, operation and demolition stages. The low level of BIM maturity at the operation stage indicates the need to develop a strategy for using BIM for building management and energy efficiency. The results obtained emphasize the importance of an integrated approach to the implementation and use of BIM at all stages of the facility life cycle to improve the overall efficiency of construction and operation.

Keywords: BIM, BIM maturity, maturity assessment, life cycle, capital construction project, assessment methodology.

Введение

Сложность и требования к эффективности, устойчивости и повышению производительности жизненного цикла в секторе капитального строительства требуют стратегического и оптимизированного внедрения передовых цифровых технологий. Технология информационного моделирования, охватывающая информационное моделирование зданий (BIM) и связанные с ним цифровые рабочие процессы, представляет собой смену парадигмы в реализации проектов, предлагая потенциальные преимущества в координации проектирования, управлении затратами, оптимизации графика и управлении активами. Однако реализация преимуществ BIM зависит от эффективного и зрелого внедрения технологий на различных этапах жизненного цикла проекта. Понимание и количественная оценка уровня зрелости технологии информационного моделирования на каждом этапе имеют решающее значение для принятия обоснованных решений относительно внедрения технологий, распределения ресурсов, оптимизации процессов и, в конечном счёте, успешной поставки и эксплуатации капитальных активов. Поэтому разработка надёжной и контекстно зависимой методологии оценки этой зрелости имеет важное значение как для академических исследований, так и для отраслевой практики.

Несмотря на внедрение технологии информационного моделирования в капитальное строительство, стандартизированная и комплексная методология объективной оценки уровня её зрелости на отдельных этапах жизненного цикла проекта остаётся в значительной степени недостаточно развитой. Существующие модели зрелости могут не в полной мере отражать требования и проблемы, связанные с применением информационного моделирования на разных этапах, таких как концептуальное проектирование, детальное проектирование, выполнение строительства и эксплуатация объекта. Отсутствие детализированной и ориентированной на жизненный цикл оценки препятствует возможности заинтересованных сторон точно оценивать текущее состояние внедрения технологий, определять конкретные области для улучшения на каждом этапе, сравнивать прогресс с лучшими отраслевыми практиками и, в конечном итоге, максимизировать ценность, получаемую от инвестиций в информационное моделирование на протяжении всего жизненного цикла проекта капитального строительства.

Материалы и методы

Проблема оценки зрелости технологии информационного моделирования зданий на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства является сложной и многогранной, что подтверждается разнообразием исследований. Анализ текущих проблем развития BIM-технологий, проведённый Загидуллиной Г. М., Ивановой Р. М. и Новширвановым М. Л. [1], служит отправной точкой для формирования методологии оценки зрелости, поскольку выявление узких мест и ограничений в применении BIM на рынке капитального строительства даёт сформулировать критерии и показатели для оценки эффективности и зрелости данной технологии. В этом контексте создание эффективной среды общих данных (CDE), рассмотренное Савенко А. И. и Черенковым П. В. [2], выступает как ключевой фактор обеспечения информационной целостности и эффективного

взаимодействия между участниками проекта на протяжении всего жизненного цикла объекта, что непосредственно влияет на уровень зрелости BIM.

Развитие и совершенствование методологии оценки зрелости BIM исследуются Шахрамьяном М. А. и Куприяновским В. П. [3]. Li Clyde Zhengdao и др. [4], расширяют представление о зрелости BIM в контексте интеграции с другими цифровыми инструментами и технологиями, что способствует созданию комплексных и эффективных решений для управления жизненным циклом объектов. Интеграция потоков данных жизненного цикла строительного проекта для создания цифрового предприятия на основе BIM, изученная Roman A. и др. [5], подчёркивает важность комплексного подхода к управлению информацией и необходимость обеспечения совместимости и взаимодействия различных информационных систем для достижения высокого уровня зрелости BIM.

Результаты моделирования Olanrewaju O. I. и др. [6] показали, что наиболее серьёзными препятствиями для внедрения BIM являются стоимость, стандарты, процессы, экономика, технологии, бизнес, а также обучение и люди. Кроме того, устранение препятствий по использованию BIM влияет на жизненный цикл строительного проекта. Интеграция оценки жизненного цикла и стоимости с помощью BIM, рассмотренная Lu K. и др. [7], является важным аспектом методологии оценки зрелости, поскольку учитывает экономические и экологические аспекты на всех этапах жизненного цикла объекта. Оптимизированная поддержка принятия решений для оценки зрелости BIM, предложенная Chen Z. S. и др. [8], способствует созданию эффективных инструментов и методов для проведения комплексной и объективной оценки уровня развития BIM в организации или проекте. Оценка возможностей процессов знаний для зрелости управления проектами, изученная Alghail A. и др. [9], подчёркивает значение управления знаниями и компетенциями в области BIM для достижения высокого уровня зрелости и эффективности проектов. Обзор анализа стоимости жизненного цикла зданий на основе BIM, проведённый Lu K. и др. [10], обобщает существующие методы и подходы к оценке стоимости, подчёркивая роль BIM в этом процессе. Наконец, устойчивый выбор материалов для строительных проектов на основе BIM и Fuzzy-ANP, рассмотренный Figueiredo K. и др. [11], демонстрирует возможности BIM для решения задач устойчивого развития и экологической эффективности в строительстве.

Таким образом, указанные исследования в совокупности формируют комплексное представление о методологии оценки зрелости технологии информационного моделирования на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства, охватывая различные аспекты применения BIM и подчёркивая необходимость комплексного и системного подхода к оценке и развитию данной технологии.

Результаты

На основании проведённого исследования и существующих методов оценки разработана новая методология оценки зрелости BIM на разных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства, которая отличается своей структурированностью и детализацией. Она не просто констатирует уровень зрелости, а раскладывает оцен-

Этап жизненного цикла объекта	Методология оценки зрелости BIM	Основные аспекты оценки
I. Предпроектная подготовка	• Уровень детализации информации по ЖЦ	• Соответствие модели требованиям заказчика
	• Глубина проработки модели	• Возможность использования модели для принятия решений
	• Интероперабельность	• Эффективность взаимодействия участников проекта
II. Проектирование	• Уровень развития модели	• Точность и полнота модели
	• Координация и обнаружение коллизий	• Возможность анализа и оптимизации проекта
	• Интеграция с другими системами	• Эффективность совместной работы
III. Строительство	• Использование модели для управления строительством	• Соответствие модели фактическому состоянию объекта
	• Контроль качества и сроков	• Возможность оперативного принятия решений
	• Управление ресурсами	• Эффективность использования BIM на стройплощадке
IV. Эксплуатация	• Использование модели для управления зданием	• Актуальность и доступность информации
	• Техническое обслуживание и ремонты	• Возможность прогнозирования и предотвращения поломок
	• Управление энергоэффективностью	• Эффективность использования BIM для эксплуатации
V. Снос	• Использование модели для планирования сноса	• Оптимизация процесса сноса
	• Учёт материалов и ресурсов	• Экологическая безопасность

Табл. 1. Основные аспекты и методологии оценки зрелости технологии информационного моделирования (BIM) на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства (составлено автором)
Tab. 1. Methodologies for assessing the maturity of building information modeling (BIM) technology at various stages of the life cycle of capital construction projects (compiled by the author)

ку на основные аспекты, важные для каждого этапа (см. таблицу 1).

Отличие от других методологий в том, что разработанная оценка фокусируется на 5 уровнях зрелости (от 0 до 4) и даёт общее представление об этапах ЖЦОКП, но не углубляется в детали. Данная методология необходима:

- для точной и объективной оценки – разделение на основные аспекты помогает избежать субъективности в оценке зрелости BIM;
- для выявления проблемных зон – концентрируясь на конкретных аспектах, легче выявить слабые места в использовании BIM на каждом этапе.

Методология, указанная в таблице 1, является гибким и детальным инструментом для оценки зрелости BIM по сравнению с другими существующими подходами, так как помогает выявить конкретные направления для улучшения.

В таблице 2 предлагается структурированная оценка уровня зрелости BIM на разных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Она отличается от других подходов тем, что связывает конкретные уровни зрелости (от 1 до 5) с подробным описанием использования BIM на каждом этапе. Уровни зрелости BIM:

Этап жизненного цикла объекта	Уровень зрелости BIM	Описание
I. Предпроектная подготовка	1 – Начальный	BIM используется для создания концептуальной модели и оценки технико-экономических показателей проекта.
	2 – Развивающийся	BIM используется для разработки детальной модели, с применением архитектурных и инженерных решений.
	3 – Продвинутый	BIM используется для анализа вариантов проекта, выбора оптимальных решений и разработки BIM-плана.
II. Проектирование	2 – Развивающийся	BIM используется для создания рабочей модели, чтобы детально проработать архитектурные, конструктивные и инженерные системы.
	3 – Продвинутый	BIM используется для координации моделей различных разделов проекта, обнаружения коллизий и оптимизации проектных решений.
	4 – Экспертный	BIM используется для автоматизированной проверки модели на соответствие требованиям, формирования спецификаций и смет.
III. Строительство	3 – Продвинутый	BIM используется для планирования и управления строительством, контроля сроков и качества работ.
	4 – Экспертный	BIM используется для создания исполнительной модели, учёта фактически выполненных работ и управления ресурсами.
IV. Эксплуатация	4 – Экспертный	BIM используется для управления зданием, технического обслуживания и ремонтов, учёта энергоэффективности.
	5 – Оптимизированный	BIM интегрируется с другими системами управления зданием, обеспечивая автоматизированный сбор данных и анализ.
V. Снос	4 – Экспертный	BIM используется для планирования и управления сносом, учёта материалов и ресурсов.
	5 – Оптимизированный	BIM интегрируется с системами управления отходами, обеспечивая экологическую безопасность.

Табл. 2. Оценка уровня зрелости BIM на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства
Tab. 2. Assessment of the level of BIM maturity at various stages of the life cycle of capital construction projects

Этап жизненного цикла объекта	Уровень зрелости BIM	Оценка проекта «Bereg. Курортный»	Описание
I. Предпроектная подготовка	2 – Развивающийся	• Разработка концептуальной BIM-модели.	На данном этапе BIM используется для формирования общего представления о проекте, его основных характеристиках и потенциальной экономической эффективности.
		• Оценка технико-экономических показателей.	
		• Предварительное планирование строительства.	
II. Проектирование	3 – Продвинутый	• Разработка детальной BIM-модели, а также архитектурные, конструктивные и инженерные решения.	BIM обеспечивает создание точной и полной модели здания, чтобы избежать ошибок и оптимизировать проектные решения.
		• Координация моделей различных разделов проекта.	
		• Обнаружение ошибок и оптимизация проектных решений.	
III. Строительство	3 – Продвинутый	• Планирование и управление строительством с помощью BIM.	BIM помогает эффективно организовать строительный процесс, контролировать сроки и качество работ, а также оптимизировать использование ресурсов.
		• Контроль сроков и качества работ.	
		• Управление ресурсами на стройплощадке.	
IV. Эксплуатация	4 – Экспертный	• Использование BIM для управления зданием. Техническое обслуживание и ремонты на основе BIM-модели.	BIM обеспечивает эффективное управление зданием на этапе эксплуатации, чтобы оперативно решать возникающие проблемы и оптимизировать потребление ресурсов.
		• Учёт энергоэффективности здания.	
V. Снос	4 – Экспертный	• Планирование и управление сносом с помощью BIM.	BIM помогает оптимизировать процесс сноса, обеспечить безопасность и экологическую безопасность.
		• Учёт материалов и ресурсов для вторичной переработки.	

Табл. 3. Оценка проекта «Bereg. Курортный» на всех этапах жизненного цикла объекта по уровню зрелости BIM
Tab. 3. Evaluation of the project «Bereg. Kurortny» at all stages of the life cycle of the facility according to the level of BIM maturity

1 – Начальный уровень: BIM используется для создания простых моделей и визуализации проекта.

2 – Развивающийся уровень: BIM используется для разработки детальных моделей и координации различных разделов проекта.

3 – Продвинутый уровень: BIM используется для анализа, оптимизации и управления проектом на всех этапах жизненного цикла.

4 – Экспертный уровень: BIM используется для автоматизации процессов, контроля качества и интеграции с другими системами.

5 – Оптимизированный уровень: BIM используется для непрерывного улучшения процессов и достижения максимальной эффективности на всех этапах жизненного цикла.

В таблице 2 представлена общая оценка уровня зрелости BIM на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства. Фактический уровень зрелости может отличаться в зависимости от конкретного проекта и организации. В отличие от простой классификации, предлагается точная градация уровней зрелости (от 1 до 5), чтобы детально оценить прогресс в использовании BIM. Оценка уровня зрелости привязана к конкретным этапам жизненного цикла объекта, чтобы увидеть, как BIM используется на каждом этапе и где есть потенциал для улучшения. Для каждого уровня зрелости приводится подробное описание, чтобы чётко понимать, какие функции и возможности BIM должны быть реализованы на данном уровне.

Оценка уровня зрелости BIM, указанная в таблице 2, помогает определить текущее состояние, а также выявить проблемные зоны, спланировать развитие и контролировать прогресс, что в конечном итоге приводит к повышению эффективности строительства и эксплуатации объектов.

Для детального анализа и оценки уровня зрелости BIM на практике рассмотрим проект «Bereg. Курортный»,

который указан в таблице 3. Данные, приведённые в таблице, демонстрируют уровень зрелости BIM на каждом этапе, чтобы выявить сильные и слабые стороны проекта с точки зрения применения BIM-технологий.

Оценка зрелости BIM – это комплексный процесс, который подразумевает анализ различных аспектов использования BIM на каждом этапе жизненного цикла объекта. Далее структурирован процесс оценки, чтобы сделать его более объективным. Этот подход основан на балльной системе, где каждому ключевому аспекту присваивается определённый вес, а затем эксперты оценивают уровень реализации этого аспекта на конкретном проекте.

Шаг 1. Определение процессов и их весов. На основе таблиц 1 и 2 выделены процессы, которые характеризуют зрелость BIM на каждом этапе жизненного цикла объек-

Этап жизненного цикла	Процесс	Оценка (баллы)
I. Предпроектная подготовка	Уровень детализации информации (LOD)	3
	Глубина проработки модели (LOI)	2
II. Проектирование	Координация и обнаружение коллизий	5
	Интеграция с другими системами	4
III. Строительство	Использование модели для управления строительством	5
	Контроль качества и сроков	4
IV. Эксплуатация	Использование модели для управления зданием	4
	Управление энергоэффективностью	3
V. Снос	Использование модели для планирования сноса	3
	Учёт материалов и ресурсов	2

Табл. 4. Определение процессов и их весов проекта «Bereg. Курортный» на всех этапах жизненного цикла объекта по уровню общей зрелости BIM
Tab. 4. Definition of processes and their weights of the project «Bereg. Kurortny» at all stages of the life cycle of the facility according to the level of overall BIM maturity

та. Для каждого процесса определён вес, который отражает его важность для общей оценки зрелости. Значения оценок в таблице 4 основаны на экспертных оценках текущего уровня реализации соответствующих процессов на примере проекта «Bereg. Курортный». Оценка проводилась на основе анализа документации проекта и собственного опыта в области BIM. Веса процессов (оценка) были определены на основе экспертного мнения о степени влияния каждого процесса на общую зрелость BIM на конкретном этапе жизненного цикла. Мы можем дополнительно обосновать выбор весов, опираясь на литературные источники или результаты предварительного опроса экспертов (если это применимо). Оценка выражена в баллах от 1 до 5, где 1 – минимальный уровень реализации, а 5 – максимальный. В данном исследовании оценка стадии «Снос» для проекта «Bereg. Курортный» носила прогнозный характер и основывалась на следующих предположениях и подходах:

- анализ проектной документации и BIM-модели с точки зрения возможности их использования для планирования будущего сноса;
- экспертная оценка потенциального уровня зрелости BIM на этапе сноса с учётом текущего уровня развития BIM на других этапах проекта и общих тенденций в отрасли;
- использование аналогов и лучших практик в области BIM для сноса подобных объектов.

Шаг 2. Оценка уровня реализации каждого процесса. Для каждого процесса эксперты оценивают уровень его реализации на конкретном проекте.

Шаг 3. Расчёт итоговой оценки. Для каждого этапа жизненного цикла объекта рассчитывается итоговая оценка путём умножения оценки каждого аспекта на его вес и последующего суммирования полученных значений.

Формула:

$$I_o = \sum (A_i * W_i),$$
 (1)

где I_o – итоговая оценка;
 i – индекс, обозначающий номер процесса (от 1 до N);
 N – общее количество процессов;
 A_i – оценка i -го процесса;
 W_i – вес i -го процесса.

В нашем случае формула будет в следующем виде:

$$I_o = (A_1 * W_1) + (A_2 * W_2) + ... + (A_N * W_N).$$
 (2)

Этап жизненного цикла	Процесс	Оценка (баллы)
Предпроектная подготовка	Уровень детализации информации (LOD)	4
	Глубина проработки модели (LOI)	3
Проектирование	Координация и обнаружение коллизий	5
	Интеграция с другими системами	4
Строительство	Использование модели для управления строительством	3
	Контроль качества и сроков	4
Эксплуатация	Использование модели для управления зданием	2
	Управление энергоэффективностью	3
Снос	Использование модели для планирования сноса	4
	Учёт материалов и ресурсов	3

Табл. 5. Оценка уровня реализации каждого процесса
Tab. 5. Assessment of the level of implementation of each process

Этап жизненного цикла	Процесс	Вес (W_i)
I. Предпроектная подготовка	Уровень детализации информации (LOD)	0,5
	Глубина проработки модели (LOI)	0,5
II. Проектирование	Координация и обнаружение коллизий	0,5
	Интеграция с другими системами	0,5
III. Строительство	Использование модели для управления строительством	0,5
	Контроль качества и сроков	0,5
IV. Эксплуатация	Использование модели для управления зданием	0,5
	Управление энергоэффективностью	0,5
V. Снос	Использование модели для планирования сноса	0,5
	Учёт материалов и ресурсов	0,5

Табл. 6. Вес (W_i) процессов
Tab. 6. Weight (W_i) of processes

В данном случае мы предполагаем, что вес (W_i) процессов одинаков в пределах каждого этапа для упрощения расчёта.

Расчёт итоговой оценки (I_o). Итоговая оценка является интегральным показателем уровня зрелости BIM на конкретном этапе. Сравнивая оценки по этапам, можно выявить сильные и слабые стороны проекта с точки зрения использования BIM-технологий. На основе этих данных можно принимать обоснованные решения о дальнейших шагах по развитию BIM на проекте.

Используем формулу 2 для всех этапов ЖЦОКС.

1. Предпроектная подготовка:

$$A_1 = 4,$$
$$A_2 = 3,$$
$$W_1 = W_2 = 0,5,$$
$$I_o = (4 * 0,5) + (3 * 0,5) = 2 + 1,5 = 3,5.$$

2. Проектирование:

$$\text{Координация } (A_1) = 5,$$
$$\text{Интеграция } (A_2) = 4,$$
$$W_1 = W_2 = 0,5,$$
$$I_o = (5 * 0,5) + (4 * 0,5) = 2,5 + 2 = 4,5.$$

3. Строительство:

$$\text{Управление строительством } (A_1) = 3,$$
$$\text{Контроль качества } (A_2) = 4,$$
$$W_1 = W_2 = 0,5,$$
$$I_o = (3 * 0,5) + (4 * 0,5) = 1,5 + 2 = 3,5.$$

4. Эксплуатация:

$$\text{Управление зданием } (A_1) = 2,$$
$$\text{Энергоэффективность } (A_2) = 3,$$
$$W_1 = W_2 = 0,5,$$
$$I_o = (2 * 0,5) + (3 * 0,5) = 1 + 1,5 = 2,5.$$

5. Снос:

$$\text{Планирование сноса } (A_1) = 4,$$
$$\text{Учёт ресурсов } (A_2) = 3,$$
$$W_1 = W_2 = 0,5,$$
$$I_o = (4 * 0,5) + (3 * 0,5) = 2 + 1,5 = 3,5.$$

Этап жизненного цикла	Итоговая оценка (I_o)
Предпроектная подготовка	3,5
Проектирование	4,5
Строительство	3,5
Эксплуатация	2,5
Снос	3,5

Табл. 7. Итоговые результаты
Tab. 7. Final results

Шаг 4. Интерпретация результатов. Полученные итоговые оценки для каждого этапа жизненного цикла объекта сопоставлены с уровнями зрелости BIM, чтобы определить, на каком уровне зрелости находится использование BIM на каждом этапе.

Анализ результатов показал, на этапе «Проектирование» достигнут наиболее высокий уровень зрелости BIM (4,5), и свидетельствует об эффективном использовании BIM для координации и обнаружения коллизий, а также интеграции с другими системами. Можно сделать вывод о том, что BIM-модель на этапе проектирования достаточно проработана и отвечает требованиям проекта. Уровень зрелости BIM на этапах «Предпроектная подготовка» и «Строительство» оценивается в 3,5 балла и указывает на то, что, несмотря на использование BIM, имеются резервы для повышения эффективности. Необходимо уделить больше внимания детализации информации на этапе предпроектной подготовки и активнее использовать модель для управления строительством. Самый низкий показатель зрелости BIM (2,5) наблюдается на этапе эксплуатации и подчёркивает недостаточное использование BIM для управления зданием и энергоэффективностью.

Обсуждение

На примере проекта «Bereg. Курортный» видно, что BIM-технологии в данный период развития демонстрируют наибольшую эффективность на этапе проектирования, где достигнут наиболее высокий уровень зрелости. Полученные результаты подтверждают, что BIM обеспечивает создание точной и полной модели здания, чтобы избежать ошибок проектирования, эффективно координировать работу различных разделов проекта, обнаруживать коллизии и оптимизировать проектные решения.

Вместе с тем анализ выявил и зоны развития, в частности, на этапах предпроектной подготовки, строительства, эксплуатации и сноса. Несмотря на имеющееся использование BIM, потенциал данных этапов реализован не в полной мере, что связано с различными факторами, такими как недостаточное внимание к детализации информации на этапе предпроектной подготовки, недостаточно активное использование модели для управления строительством, ограниченное применение BIM для управления зданием и энергоэффективностью на этапе эксплуатации, а также не в полной мере эффективное использование BIM для планирования демонтажа и учёта материалов на этапе сноса.

Заключение

1. Проведённое исследование направлено на разработку комплексной методологии оценки зрелости техно-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загидуллина, Г. М. Анализ текущих проблем развития BIM-технологий на рынке капитального строительства / Г. М. Загидуллина, Р. М. Иванова, М. Л. Новширванов. – DOI 10.55186/2413046X_2022_7_12_717 // Московский экономический журнал. – 2022. – Т. 7, № 12. – Ст. 40.

2. Савенко, А. И. Среда общих данных при реализации строительных объектов с применением BIM / А. И. Савенко, П. В. Черенков. – DOI 10.17273/CADGIS.2019.2.1 // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2019. – № 2 (13). – С. 4–11.

3. Шахрамьян, М. А. Некоторые вопросы повышения конкурентоспособности и зрелости инфраструктурных проектов с использованием технологий информационного моделирования / М. А. Шахрамьян, В. П. Куприяновский // International Journal of Open Information Technologies. –

логии информационного моделирования на различных этапах жизненного цикла объектов капитального строительства, которое обусловлено необходимостью повышения эффективности и устойчивости в строительной отрасли. Предложенная методология, основанная на анализе существующих подходов и выявленных проблемах внедрения BIM, отличается своей структурированностью и детализацией оценки, охватывая пять основных этапов жизненного цикла объекта. В отличие от существующих моделей, разработанная методика не только определяет общий уровень зрелости, но и детализирует оценку по основным аспектам, релевантным для каждого этапа, чтобы точно выявлять проблемные зоны и концентрироваться на конкретных улучшениях.

2. Практическая значимость разработанной методологии заключается в предоставлении заинтересованным сторонам инструмента для объективной оценки текущего состояния внедрения BIM, определения конкретных областей для сравнения достигнутого уровня с лучшими отраслевыми практиками. Предложенная балльная система оценки, имеющая определение весов процессов и экспертную оценку уровня их реализации, обеспечивает количественный подход к определению зрелости BIM на каждом этапе жизненного цикла объекта. Анализ примера проекта «Bereg. Курортный» продемонстрировал практическое применение разработанной методологии и помог выявить сильные стороны проекта в области проектирования и зоны роста на этапах предпроектной подготовки, строительства, эксплуатации и сноса.

3. Результаты исследования подтверждают, что эффективное внедрение BIM требует поэтапного подхода и учёта специфики каждого этапа жизненного цикла объекта. Наиболее высокий уровень зрелости, как показал анализ, достигается на этапе проектирования, что свидетельствует о зрелости использования BIM для координации и обнаружения коллизий. Вместе с тем выявлены возможности для улучшения использования BIM на других этапах, в частности, в области управления эксплуатацией и энергоэффективностью зданий.

Предложенная методология способствует принятию обоснованных управленческих решений относительно дальнейшего развития BIM в организации и на конкретных проектах, что в конечном итоге приводит к повышению эффективности капитального строительства и эксплуатации построенных объектов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на эмпирическую валидацию разработанной методологии для строительных проектов.

2022. – Vol. 10, No. 12. – Pp. 123–173.

4. The Application of Advanced Information Technologies in Civil Infrastructure Construction and Maintenance / C. Z. Li, Z. Guo, D. Su, B. Xiao, V. W.Y. Tam. – DOI 10.3390/su14137761 // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, Iss. 13. – Art. 7761.

5. Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on building information modeling / R. Akselrod, A. Shpakov, G. Ryzhakova, T. Honcharenko, I. Chupryna, H. Shpakova. – DOI 10.46338/ijetae0122_05 // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2022. – Vol. 12, Iss. 1. – Pp. 40–50.

6. Modelling the relationship between Building Information Modelling (BIM) implementation barriers, usage and awareness on building project lifecycle / O. I. Olanrewaju, A. F. Kineber, N. Chileshe, D. J. Edwards. – DOI 10.1016/j.

buildenv.2021.108556 // Building and Environment. – 2022. – Vol. 207, Part B. – Art. 108556.

7. Integration of life cycle assessment and life cycle cost using building information modeling: A critical review / K. Lu, X. Jiang, J. Yu, V. W.Y. Tam, M. Skitmore. – DOI 10.1016/j.jclepro.2020.125438 // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 285. – Art. 125438.

8. Optimized decision support for BIM maturity assessment / Z.-S. Chen, M.-D. Zhou, K.-S. Chin, A. Darko, X.-J. Wang, W. Pedrycz. – DOI 10.1016/j.autcon.2023.104808 // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 149. – Art. 104808.

9. Assessment of knowledge process capabilities toward project management maturity: an empirical study / A. Alghail, L. Yao,

REFERENCES

1. Zagidullina, G. M. Analiz tekushhikh problem razvitiya BIM tekhnologij na rynke kapital'nogo stroitel'stva [Analysis of current problems of BIM technology development in the capital construction market] / G. M. Zagidullina, R. M. Ivanova, M. L. Novshirvanov. – DOI 10.55186/2413046X_2022_7_12_717 // Moskovskij ehkonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal]. – 2022. – Vol. 7, No. 12. – Art. 40.

2. Savenko, A. I. Sreda obshhikh dannyx pri realizatsii stroitel'nykh ob'yektov s primeneniem BIM [Common data environment in the implementation of construction projects using BIM] / A. I. Savenko, P. V. Cherenkov. – DOI 10.17273/CADGIS.2019.2.1 // SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog [CAD and GIS of highways]. – 2019. – No. 2 (13). – Pp. 4–11.

3. Shakhramanyan, M. A. Nekotorye voprosy povysheniya konkurentosposobnosti i zrelosti infrastrukturykh proyektov s ispol'zovaniem tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya [Some issues of increasing the competitiveness and maturity of infrastructure projects using information modeling technologies] / M. A. Shakhramanyan, V. P. Kupriyanovsky // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Vol. 10, No. 12. – P. 123–173.

4. The Application of Advanced Information Technologies in Civil Infrastructure Construction and Maintenance / C. Z. Li, Z. Guo, D. Su, B. Xiao, V. W.Y. Tam. – DOI 10.3390/su14137761 // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, Iss. 13. – Art. 7761.

5. Integration of data flows of the construction project life cycle to create a digital enterprise based on building information modeling / R. Akselrod, A. Shpakov, G. Ryzhakova, T. Honcharenko, I. Chupryna, H. Shpakova. – DOI 10.46338/ijetae0122_05 // International Journal of Emerging Technology and Advanced

M. Abbas, Y. Baashar // Journal of Knowledge Management. – 2022. – Vol. 26, Iss. 5. – Pp. 1207–1234. – URL: https://doi.org/10.1108/JKM-03-2021-0180.

10. A review on life cycle cost analysis of buildings based on building information modeling / K. Lu, X. Deng, X. Jiang, B. Cheng. – DOI 10.3846/jcem.2023.18473 // Journal of Civil Engineering and Management. – 2023. – Vol. 29, No. 3. – Pp. 268–288.

11. Sustainable material choice for construction projects: A Life Cycle Sustainability Assessment framework based on BIM and Fuzzy-AHP / K. Figueiredo, R. Pierott, A. W. A. Hammad, A. N. Haddad. – DOI 10.1016/j.buildenv.2021.107805 // Building and Environment. – 2021. – Vol. 196. – Art. 107805.

Engineering. – 2022. – Vol. 12, Iss. 1. – Pp. 40–50.

6. Modelling the relationship between Building Information Modelling (BIM) implementation barriers, usage and awareness on building project lifecycle / O. I. Olanrewaju, A. F. Kineber, N. Chileshe, D. J. Edwards. – DOI 10.1016/j.buildenv.2021.108556 // Building and Environment. – 2022. – Vol. 207, Part B. – Art. 108556.

7. Integration of life cycle assessment and life cycle cost using building information modeling: A critical review / K. Lu, X. Jiang, J. Yu, V. W.Y. Tam, M. Skitmore. – DOI 10.1016/j.jclepro.2020.125438 // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 285. – Art. 125438.

8. Optimized decision support for BIM maturity assessment / Z.-S. Chen, M.-D. Zhou, K.-S. Chin, A. Darko, X.-J. Wang, W. Pedrycz. – DOI 10.1016/j.autcon.2023.104808 // Automation in Construction. – 2023. – Vol. 149. – Art. 104808.

9. Assessment of knowledge process capabilities toward project management maturity: an empirical study / A. Alghail, L. Yao, M. Abbas, Y. Baashar // Journal of Knowledge Management. – 2022. – Vol. 26, Iss. 5. – Pp. 1207–1234. – URL: https://doi.org/10.1108/JKM-03-2021-0180.

10. A review on life cycle cost analysis of buildings based on building information modeling / K. Lu, X. Deng, X. Jiang, B. Cheng. – DOI 10.3846/jcem.2023.18473 // Journal of Civil Engineering and Management. – 2023. – Vol. 29, No. 3. – Pp. 268–288.

11. Sustainable material choice for construction projects: A Life Cycle Sustainability Assessment framework based on BIM and Fuzzy-AHP / K. Figueiredo, R. Pierott, A. W. A. Hammad, A. N. Haddad. – DOI 10.1016/j.buildenv.2021.107805 // Building and Environment. – 2021. – Vol. 196. – Art. 107805.

Аннотация. Цифровизация играет очень важную роль для строительной отрасли. Среди аспектов цифровизации встаёт вопрос о создании новых цифровых форм валют – цифрового рубля. Планируется выпуск полноценного вида национальной валюты, обладающей всеми стандартными характеристиками платёжного средства. Новые цифровые особенности цифрового рубля обеспечат его большую практичность и универсальность, однако также сделают его подверженным рискам и издержкам. Цифровой рубль будет полноценным видом национальной валюты, обладая всеми стандартными характеристиками платёжного средства. Новые цифровые особенности рубля обеспечат его большую практичность и универсальность, а также сделают его следующим шагом к прогрессу. Экспертный опрос позволил отразить потенциальные пре-

Abstract. Digitalization has a very important role for the construction industry. Among the aspects of digitalization is the question of creating new digital forms of currencies - the digital ruble. It is planned to issue a full-fledged type of national currency with all the standard characteristics of a means of payment. The new digital features of the digital ruble will ensure its greater practicality and versatility, but will also make it susceptible to risks and costs. The digital ruble will be a full-fledged type of national currency, having all the standard characteristics of a means of payment. The new digital features of the ruble will ensure its greater practicality and versatility, as well as make it the next step towards progress.

The expert survey made it possible to reflect the potential

Введение

Одним из важных проектов цифровизации становится цифровой рубль. На сегодняшний день использование цифровой национальной валюты планируется запустить с 1 июля 2025 года. Пользователями цифрового рубля станут строительные компании, взаимодействующие с государственными организациями [1].

Цифровой рубль сочетает в себе преимущества как наличных, так и безналичных форм валюты. Он позволяет осуществлять привычные платежи через интернет, а также совершать офлайн-платежи с помощью телефона без подключения к сети. Поскольку цифровые рубли не будут привязаны к банковским счетам, их можно использовать через онлайн-сервисы любой кредитной организации. Это делает переводы более доступными и бесплатными. Бизнес, в свою очередь, сможет сократить расходы на эквайринг [2; 3].

Услугу эквайринга будет оказывать не коммерческий банк, а государственный. Так, в системе, фиксирующей транзакции с цифровым рублём, сотрудничество между частным подрядчиком и государственной организацией, нуждающейся в строительной услуге, будет происходить намного быстрее и удобнее: от отбора в тендере до завершения проекта и ввода здания в эксплуатацию.

Материалы и методы

Цифровой рубль дополнит наличные и безналичные расчёты, позволяя использовать три формы денег. Структура цифрового рубля, заключенная в технологии распределенных реестров, позволит обеспечивать безопасность и прозрачность транзакций, минимизируя риски мошенничества и ускоряя расчёты [4].

Обработка результатов анкет экспертного опроса среди руководителей строительных организаций позволила выявить ряд преимуществ введения цифрового рубля:

1. Удобство и доступность. Цифровая валюта может быть легкодоступна через мобильные устройства и онлайн-сервисы, упрощая проведение транзакций. Это по-

имущества цифрового рубля для руководителей строительных компаний: дополнение к возможности производства наличных и безналичных расчётов, ускорение транзакций между гражданами и организациями и минимизация мошенничества. Цель исследования направлена на выявление преимуществ введения цифрового рубля и влияния на финансовое делопроизводство в строительной индустрии. Рассмотрены перспективы цифрового рубля для строительной отрасли. Следует отметить, что внедрение цифрового рубля является сложным процессом, требующим взаимосвязи всех участников рынка, в том числе и строительного.

Ключевые слова: цифровой рубль, строительная отрасль, цифровизация в строительстве, подрядные организации, строительство, сроки.

advantages of the digital ruble for the heads of construction companies: the addition of the possibility of making cash and non-cash payments, speeding up transactions between citizens and organizations, and minimizing fraud. The purpose of the study is to identify the advantages of introducing the digital ruble and the impact on financial records management in the construction industry. The prospects of the digital ruble for the construction industry are considered. It should be noted that the introduction of the digital ruble is a complex process that requires the interconnection of all market participants, including construction.

Keywords: digital ruble, construction industry, digitalization in construction, contractors, construction, terms.

зволяет быстро и без задержек оплачивать материалы, услуги подрядчиков и другие расходы. Благодаря этому строительные компании могут более эффективно управлять своими финансовыми потоками, снижая временные и административные затраты, связанные с банковскими переводами [5].

2. Снижение транзакционных издержек. С цифровым рублём издержки могут быть значительно сокращены, так как транзакции могут проводиться напрямую с государственным учреждением, с которым ведёт взаимодействие частный подрядчик. Это позволяет строительным компаниям более эффективно распределить бюджет, снизить общие затраты на проекты и ускорить процессы оплаты, что в конечном итоге может привести к более конкурентоспособным ценам и улучшению качества обслуживания клиентов.

3. Ускорение платежей. Транзакции могут обрабатываться быстрее, что особенно важно для бизнеса и потребителей. Традиционные банковские переводы могут занимать несколько дней, что может задерживать закупку материалов и оплату услуг подрядчиков. Цифровая валюта позволяет значительно сократить время обработки транзакций, обеспечивая мгновенные или почти мгновенные платежи. Это особенно важно для строительных компаний, которые часто работают в условиях ограниченных сроков [6].

4. Учёт недостатков работы негосударственных банков в новой системе. Необходимо подчеркнуть важность мобильности транзакций банков. При устранении недостатков других систем при введении цифрового рубля может быть решена такая проблема, как невозможность пользования своим банковским счётом в течение нескольких дней при обновлении банковских карт. Если для физических лиц возможен временный переход на денежные носители или бесконтактные оплаты из других банков, то для строительных организаций срок в несколько дней может оказаться критическим.

УДК 69

Анализ особенностей цифровизации строительной отрасли на примере внедрения «цифрового рубля»

Analysis of the Features of Digitalization of the Construction Industry Using the Example of the Introduction of the "Digital Ruble"

Шестерикова Яна Валерьевна

Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, shesterikova.jana@yandex.ru

Shesterikova Yana Valerievna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, shesterikova.jana@yandex.ru

Андрианов Василий Николаевич

Студент бакалавриата, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, vasi.shetinin@yandex.ru

Andrianov Vasily Nikolaevich

Bachelor student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, vasi.shetinin@yandex.ru

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_78

5. Финансовая инклюзия. Цифровой рубль может обеспечить доступ к финансовым услугам людям, которые не имеют банковских счетов или находятся в далёких регионах. Это поможет производить оплату труда рабочих в любых условиях, что упростит управление ресурсами для подрядных организаций. А отсутствие необходимости в интернет-соединении также ускорит процессы, связанные с передвижением денежных средств.

В ходе экспертного опроса отмечено, что внедрение цифрового рубля упростит договорное взаимодействие, если оно будет проводиться через смарт-контракты. Это явное преимущество для подрядчика. Компании с положительной историей транзакций, зафиксированной в реестре системы цифрового рубля, будут подтверждены надёжными исполнителями работ для государственных организаций, что повысит доверие к компании и сделает более верным выбор подрядчика для нового объекта.

Интеграция цифрового рубля в строительные процессы открывает новые перспективы для отрасли, такие как снижение транзакционных издержек, ускорение платежей.

Использование цифровой валюты может иметь множество преимуществ, но также следует отметить недостатки и риски:

1. Издержки при внедрении, стабилизации цифрового рубля. Создание и поддержка платформы для платежей в цифровых валютах потребуют значительных финансовых вложений как от государства, так и от бизнеса. Строительным компаниям, как и другим бизнесам, придётся инвестировать в обновление своих финансовых систем и обучение сотрудников для работы с цифровыми валютами, что может привести к дополнительным расходам [7].

2. Кибербезопасность. В случае высокой степени централизации системы цифровой валюты хакерские атаки на серверы могут вызвать серьёзный кризис. Любые неполадки в работе системы могут привести к затруднениям доступа пользователей к своим цифровым кошелькам. При полной интеграции цифрового рубля в основание финансовой структуры строительной организации может возникнуть кризис с большими убытками – как ресурсными, так и временными. Однако это проблема любых цифровых денежных систем.

3. Возможное снижение ликвидности банков. Быстрое внедрение цифровой валюты может вызвать отток клиентских средств из частных банков, что может привести к банковскому кризису. Это повлияет на клиентскую способность частных строительных компаний. Уменьшение

объёма вкладов на счетах снижает возможности банков по предоставлению кредита как частным лицам, так и бизнесу. Данное событие замедлит создание объектов, производящееся на инвестиции, которые исходят из банковских счетов подрядчиков [8].

Результаты

Проведённый анализ позволил выявить преимущества введения цифрового рубля для строительной отрасли:

- 1. Удобство и доступность управления финансовыми потоками;
 - 2. Снижение транзакционных издержек при взаимодействии с государственными учреждениями;
 - 3. Скорость платежей в условиях сжатых сроков;
 - 4. Учёт и устранение недостатков работы негосударственных банков в новой системе;
 - 5. Финансовая инклюзия при оплате труда рабочих.
- Из рисков внедрения цифрового рубля отмечены:
- 1. Издержки при внедрении цифрового рубля: от обучения персонала до инвестирования в обновление финансовой системы организации;
 - 2. Остановка работы системы цифрового рубля при хакерских атаках во время активных строительных процессов;
 - 3. Отток части средств из частных банков, что может грозить менее выгодными условиями кредитования при возможном кризисе из-за снижения ликвидности банков.

Учитывая указанные факторы, внедрение цифрового рубля в значительной степени содействует стабильности учёта денежных операций организации. Развитие глобальных денежных систем создаёт новые перспективы как для государственных учреждений, так и для частных подрядчиков.

Заключение

Обсуждение внедрения цифрового рубля освещает актуальные аспекты использования цифровых валют в строительной сфере, открывая новые возможности для взаимодействий и совершенствований в этой области. Исследование выявило преимущество введения цифрового рубля и влияния на строительную индустрию. Проведённый анализ показывает, что интеграция цифрового рубля может не только повысить эффективность финансовых операций подрядчиков, но и способствовать созданию более устойчивых финансовых решений, что, в свою очередь, подчёркивает важность дальнейшего изучения и внедрения цифровых валют в повседневную практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лapidус, А. А. Внедрение цифровых технологий в строительную отрасль / А. А. Лapidус, И. Л. Абрамов, А. А. Мартянова // Системотехника строительства. Кибepфизические строительные системы – 2019 : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 25 ноября 2019 года. – 2019. – С. 326–330.

2. Гарипов, Р. И. Значение цифрового рубля для экономики страны / Р. И. Гарипов, Н. Н. Максимова // Управление в современных системах. – 2021. – № 4 (32). – С. 3–15.

3. Губарьков, С. В. Введение цифрового рубля как фактора цифровизации и инноватизации предпринимательской деятельности в России / С. В. Губарьков, А. А. Кармак, О. М. Прискока // Вопросы развития современной науки и техники : Сборник статей VI Международной научно-практической конференции. МЦНИР «Научный взгляд», Мель-

бурн, 26 апреля 2021 года. – 2021. – С. 41–51.

4. Даюб, Т. Цифровая трансформация в строительной отрасли / Т. Даюб, И. Н. Дорошин // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 3. – С. 42–47.

5. Чадаева Т. В. Возможности адаптации опыта цифровизации зарубежных банков в банковской системе Российской Федерации / Т. В. Чадаева // Инновации и инвестиции. – 2021. – № 7. – С. 180–184.

6. Дубова С. Е. Анализ потенциала распространения феномена цифровых денег центральных банков кредитными организациями и институтами нефинансового сектора экономики / С. Е. Дубова // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2021. – № 3 (49). – С. 59–68.

7. Андрияшин С. А. Цифровая валюта центрального банка как третья форма денег государства / С. А. Андрияшин // Акту-

альные проблемы экономики и права – 2021. – Т. 15, № 1. – С. 54–76.

8. Лебедева, Н. Ю. Цифровая валюта центрального банка: пер-

REFERENCES

1. Lapidus, A. A. Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologij v stroitel'nyu otasl' [Introduction of digital technologies in the construction industry] / A. A. Lapidus, I. L. Abramov, A. A. Martyanova // Sistemotekhnika stroitel'stva. Kiberfizicheskie stroitel'nye sistemy – 2019 : Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 25 noyabrya 2019 goda [System engineering of construction. Cyberphysical Building Systems – 2019 : Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference, Moscow, November 25, 2019]. – 2019. – Pp. 326–330.

2. Garipov, R. I. Znachenie tsifrovogo rublya dlya ekonomiki strany [The value of the digital ruble for the country's economy] / R. I. Garipov, N. N. Maksimova // Upravlenie v sovremennykh sistemakh [Management in modern systems]. – 2021. – No. 4. – Pp. 3–15.

3. Gubarkov, S. V. Vvedenie tsifrovogo rublya kak faktora tsifrovizatsii i innovatizatsii predprinimatel'skoy deyatel'nosti v Rossii [Introduction of the digital ruble as a factor of digitalization and innovatization of entrepreneurial activity in Russia] / S. V. Gubarkov, A. A. Karmak, O. M. Priskoka // Voprosy razvitiya sovremennoy nauki i tekhniki : Sbornik statej VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. MTSNIR «Nauchnyj vzglyad», Mel'burn, 26 aprelya 2021 goda [Issues of the development of modern science and technology : Collection of articles of the VI International Scientific and Practical Conference. ICNIR "Scientific view", Melbourne, April 26, 2021]. – 2021. – Pp. 41–51.

4. Dayub, T. Tsifrovaya transformatsiya v stroitel'noj otrasli [Digital transformation in the construction industry] / T. Dayub,

спективы и риски эмиссии / Н. Ю. Лебедева, Г. В. Назаренко, Л. К. Седракан // Государственное и муниципальное управление. Учёные записки. – 2020. – № 2. – С. 147–153.

I. N. Doroshin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2023. – No. 3. – Pp. 42–47.

5. Chadaeva, T. V. Vozmozhnosti adaptatsii opyta tsifrovizatsii zarubezhnykh bankov v bankovskoy sisteme Rossijskoj Federatsii [Possibilities of adapting the experience of digitalization of foreign banks in the banking system of the Russian Federation] T. V. Chadaeva // Innovatsii i investitsii [Innovations and investments]. – 2021. – No. 7. – Pp. 180–184.

6. Dubova, S. E. Analiz potentsiala rasprostraneniya fenomena tsifrovyykh deneg tsentral'nykh bankov kreditnymi organizatsiyami i institutami nefinansovogo sektora ekonomiki [Analysis of the potential for the spread of the phenomenon of digital money of central banks by credit organizations and institutions of the non-financial sector of the economy] / S. E. Dubova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Seriya: Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom [News of higher educational institutions. Series: Economics, finance and production management]. – 2021. – No. 3 (49). – Pp. 59–68.

7. Andryushin, S. A. Tsifrovaya valyuta tsentral'nogo banka kak tret'ya forma deneg gosudarstva [Digital currency of the central bank as the third form of state money] / S. A. Andryushin // Aktual'nye problemy ekonomiki i prava [Actual problems of economics and law]. – 2021. – Vol. 15, No. 1. – Pp. 54–76.

8. Lebedeva, N. Yu. Tsifrovaya valyuta tsentral'nogo banka: perspektivy i riski ehmissii [Digital currency of the central bank: prospects and risks of issue] / N. Y. Lebedeva, G. V. Nazarenko, L. K. Sedrakan // Gosudarstvennoe i munitsipal'noe upravlenie. Uchyonye zapiski [State and municipal administration. Scientific notes]. – 2020. – No. 2. – Pp. 147–153.

УДК 658.5:69.009

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_81

Структурные, ресурсные и процессные аспекты повышения эффективности планирования и управления проектированием в энергетическом строительстве

Structural, Resource, and Process Aspects of Improving the Efficiency of Planning and Design Management in Energy Construction

Воронков Иван Евгеньевич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, voronkovie@mgsu.ru

Voronkov Ivan Evgenievich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Industry Buildings, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, voronkovie@mgsu.ru

Островский Роман Вадимович

Специалист по календарному планированию и контролю АО «СЗ Сергея Makeeva» (Sminex), Россия, 119017, Москва, Кадашёвская набережная, 6/1/2, строение 1, rchkp@rambler.ru

Ostrovskii Roman Vadimovich

Specialist in calendar planning and control of JSC Sergey Makeev (Sminex), Russia, 119017, Moscow, Kadashyovskaya naberezhnaya, 6/1/2, stroenie 1, rchkp@rambler.ru

Гамов Богдан Андреевич

Начальник отдела строительно-монтажных работ, Филиал АО «Атомстройэкспорт» в Народной Республике Бангладеш, Бангладеш, 6622, Пабна, Пакши, Gamov.com@yandex.ru

Gamov Bogdan Andreevich

Head of Civil Department, Branch office in the Peoples Republic of Bangladesh, JSC ASE, People's Republic of Bangladesh, 6622, Pabna, Pakshi, Gamov.com@yandex.ru

Тактаев Игорь Андреевич

Главный специалист по пожарной безопасности, АО «Институт Теплоэлектропроект», Россия, 105066, Москва, Спартаковская улица, 2А, строение 1, igor.taktaev@mail.ru

Taktaev Igor Andreevich

Chief fire safety specialist, JSC «Institute Teploelekthroproekt», Russia, 105066, Moscow, Spartakovskaya ulitsa, 2a, stroenie 1, igor.taktaev@mail.ru

Аннотация. Изучение системных закономерностей функционирования проектных компаний в области энергетического строительства является значимой исследовательской задачей. Повышение качества, сокращение сроков и снижение стоимости и трудоёмкости проектных работ способно оказать существенное влияние на повышение интегральных показателей инвестиционно-строительных проектов в целом.

С целью продолжения исследовательской работы в части поиска методов и средств повышения эффективности процессов выпуска проектной и рабочей документации на примере ведущих отечественных проектных институтов в области теплового энергетического строительства авторами рассмотрены аспекты, характеризующие микроуровневый характер их функционирования. На данном уровне объектом исследования являются механизмы и средства взаимодействия участников проектирования внутри отдельно взятой компании.

На основании анализа технологических, процессных и проектных особенностей функционирования выбранных проектных институтов было охарактеризовано их текущее состояние и выявлены ключевые проблемы, которые проявились или име-

ют тенденцию к проявлению в деятельности исследуемых компаний. На основании выявленных проблем, с использованием отечественного и международного опыта внедрения современных подходов и практик, реализуемых в области процессного и проектного управления, были разработаны организационные, управленческие и технологические предложения, актуальные для реализации как в структурах исследуемых компаний, так и применимые с целью совершенствования производственной деятельности другими участниками рынка проектирования.

Внедрение в деятельность проектных компаний сформированных предложений, по мнению авторов исследования, создаст технологические и институциональные условия для повышения скорости, ритмичности, качества и рентабельности выполнения проектных работ в рамках реализуемых и перспективных проектов.

Ключевые слова: управление проектами, управление проектированием, организационные структуры, календарно-сетевое планирование, ресурсное планирование, техническое нормирование, аналитика в строительстве.

or tend to manifest themselves in the activities of the companies under study were identified. Based on the identified problems, using domestic and international experience in implementing modern approaches and practices in the field of process and project management, organizational, managerial and technological proposals have been developed that are relevant for implementation both in the structures of the companies under study and applicable to improve production activities by other participants in the design market.

According to the authors of the study, the introduction of formed proposals into the activities of design companies will create technological and institutional conditions for increasing the speed, rhythmicity, quality and profitability of design work within the framework of ongoing and prospective projects.

Keywords: project management, design management, organizational structures, calendar and network planning, resource planning, technical rationing, analytics in construction.

образом влияют на все последующие этапы жизненного цикла объекта строительства.

В рамках работы [2] были выявлены и систематизированы основные проблемы управления проектированием объектов тепловой энергетики. Областью исследования в данном случае выступала деятельность ведущего и старейшего на настоящее время отечественного проектного института в области теплоэнергетического строительства – АО «Институт Теплоэлектропроект».

В рамках выполненного исследования были сформированы предложения по дальнейшему теоретическому поиску, обоснованию и практическому применению сбалансированных организационно-технических, управленческих подходов к организации проектной и процессной деятельности проектных институтов, внедрению математических и информационных инструментов управления производственной деятельностью [3], разработке, обоснованию и реализации организационных структур инжиниринговых компаний инновационного типа, совершенствованию методов и механизмов календарно-сетевого

планирования [4], а также институциональному анализу среды взаимодействия ключевых участников ИСП в области теплоэнергетического строительства.

В продолжение выполненного исследования в данной работе предлагается уделить внимание изучению системных факторов оценки и повышения эффективности деятельности производственных подразделений проектных компаний при реализации ИСП в области теплового и атомного энергетического строительства.

Материалы и методы

В рамках упомянутого ранее исследования [2] авторами была предложена следующая уровневая структура систем управления проектными организациями:

1. Микроуровень – функционирование отдельных проектных организаций.
2. Мезоуровень – реализация крупных ИСП с большим количеством участников, в рамках которого осуществляется скоординированная деятельность нескольких крупных проектных компаний.
3. Макроуровень – отраслевой характер проектирования энергетических объектов.

На каждом из уровней формируются уникальные механизмы взаимодействия исполнителей, используются собственные математические и информационные инструменты [5], а также решаются операционные, тактические и стратегические задачи.

На микроуровне проектная компания стремится к включению в наименее трудоёмкий, но наиболее финансово и ресурсно обеспеченный проект с высокой степенью детерминированности условий. В таком случае трудозатраты собственных сил, а также технологические и организационные риски будут минимизированы [6], а получаемый экономический эффект – максимизирован.

К сожалению, текущий опыт проектирования объектов тепловой и атомной энергетики не демонстрирует снижения сложности и трудоёмкости перспективных проектов. Ужесточение нормативно-технического регулирования, сохраняющаяся технологическая зависимость отечественной энергетики от продукции ведущих транснациональных корпораций в области силового машиностроения, автоматизации, разработки специализированного программного обеспечения (ПО), хронический дефицит трудовых ресурсов как в области проектирования, так и в области строительно-монтажных работ приводят к увеличению длительности и трудоёмкости работ по реализации ИСП, несмотря на системную цифровизацию, автоматизацию технологических процессов [7].

В рамках данного исследования авторами ставилась задача детализированного анализа современной научно-технической литературы, стандартов производственной деятельности и организационных практик, реализованных в 2021–2024 годах ведущими проектными компаниями в области теплового энергетического строительства (АО «Институт Теплоэлектропроект», АО «Мосэнерго-проект»), характеризующих текущее состояние их (микроуровневой) системы управления.

В исследуемую область вошли как действующие в выбранных организациях стандарты и регламентирующие документы, так и практический опыт проектирования объектов тепловой энергетики (2-я очередь Якутской

ГРЭС-2, Артёмовская ТЭЦ-2, реконструкции Сургутской ГРЭС-2, Киришской ГРЭС, ТЭЦ, входящих в структуру АО «Мосэнерго»).

Результаты

На основании выполненного анализа технологических, процессных и проектных особенностей функционирования выбранных участников ИСП было охарактеризовано текущее состояние и выявлены ключевые проблемы, которые проявились или имеют тенденцию к проявлению в деятельности исследуемых компаний.

На основании выявленных проблем, с использованием отечественного и международного опыта внедрения современных подходов и практик, реализуемых в области процессного и проектного управления, были разработаны организационные, управленческие и технологические предложения, актуальные для реализации как в структурах исследуемых проектных компаний, так и применимые с целью совершенствования производственной деятельности другими участниками рынка проектирования, в том числе реализующими как проекты в области теплового и атомного энергетического строительства, так и прочие промышленные или гражданские строительные проекты [8].

Сформированные предложения в области управления структурой взаимодействия участников проектирования в составе проектной компании представлены в таблице 1.

В таблице 2 приведены предложения по организации процессов календарно-сетевого, оперативного производственного и ресурсного планирования, а также прогнозирования проектных работ.

В таблицах 3 и 4 соответственно сформированы предложения по совершенствованию процессов управления реализацией проектов и управления субподрядными работами.

Обсуждение

По результатам выполненного анализа деятельности ведущих отечественных проектных институтов в области теплового энергетического строительства были выявлены, структурированы и формализованы ключевые проблемы, проявление которых при реализации проектных и процессных функций исследуемых компаний принципиальным образом сказывается на качественных показателях реализации инвестиционно-строительных проектов [9].

Формализация выявленных проблем совместно с адаптацией для нужд проектирования энергетических объектов отечественного и международного опыта проектного и процессного управления позволила разработать перечень организационных, управленческих и технологических предложений, релевантных и востребованных для реализации как в структурах исследуемых проектных компаний, так и применимые с целью совершенствования производственной деятельности другими участниками рынка проектирования.

Заключение

Внедрение в деятельность проектных компаний сформированных в рамках настоящей работы предложений потребует, с одной стороны, существенной модернизации организационной структуры компании в части производственной деятельности, реинжиниринга существующих

Аспект	Текущее состояние	Ключевые проблемы	Предложения по совершенствованию деятельности
Принятый тип организационной структуры компании	В основе современных проектных компаний в области теплового энергетического строительства лежит матричная организационная структура с преимущественной концентрацией управленческих полномочий в руках функциональных руководителей (слабая матрица). За руководителями проектов (РП) и главными инженерами проектов (ГИП) сохранена общая координация исполнителей и коммуникация с заказчиком и контрагентами.	- Ограничение возможностей и преимуществ проектного управления. - Ресурсная (в части расстановки приоритетов и выделения на проект трудовых ресурсов) зависимость ГИП (РП) от функциональных руководителей. - Информационная асимметрия между ГИП (РП) и функциональными руководителями.	- Формализация и реинжиниринг бизнес-процессов компании. - Корректировка принятой или разработка новой ролевой модели основных участников проекта. - Формирование «под проект» проектного офиса, укомплектованного специалистами в области технического и организационного управления проектами, календарно-сетевого планирования, производственной аналитики. - Высвобождение рабочего времени ГИП (РП) для интенсификации работы с исполнителями путём передачи части специализированных функций и задач профильным специалистам непроизводственных подразделений (функции календарно-сетевого планирования (КСП) – специалистам по планированию, мониторинга показателей проектов – специалистам по техническому нормированию или аналитикам).

Табл. 1. Управление взаимодействием в структуре проектной компании
Tab. 1. Interaction management in the structure of the design company

Аспект	Текущее состояние	Ключевые проблемы	Предложения по совершенствованию деятельности
Прогнозирование стоимости и трудоёмкости перспективных проектов	Статистическая база данных об основных показателях трудоёмкости, длительности, удельной стоимости проектных работ либо отсутствует, либо развита слабо. Калькуляция трудоёмкости и стоимости работ по перспективным проектам выполняется преимущественно на основании экспертных оценок руководителей функциональных подразделений и ГИП (РП).	- Высокая субъективность и недостаточная точность прогнозных оценок стоимости и длительности реализации перспективных проектов. - Высокие риски принятия решений об участии в реализации уникальных, нетиповых проектов.	- Разворот (при отсутствии), нормализация и актуализация (при существовании) детализированной базы данных трудоёмкости, длительности, структуры работ по реализованным проектам. - Внедрение (при отсутствии) или совершенствование системы учёта рабочего времени сотрудников (таймшит) с её увязкой с системой КСП и базой данных компании. - Формирование в структуре компании аналитического блока, администрирующего базу данных компании и формализующего по запросам заинтересованных лиц аналитические и прогнозные отчёты по проектам.
Календарно-сетевое планирование проектов	Календарно-сетевое и оперативное производственное планирование реализации проектов и деятельности проектной компании в целом осуществляется преимущественно руководителями проектов или главными инженерами проектов с использованием MS Office Project.	- Недоиспользование функционала календарно-сетевого планирования для решения задач управления проектами в энергетике. - Избыточная нагрузка на ГИП (РП) в части осуществления ресурсного и временного менеджмента проекта. - Недостаточная квалификация ГИП (РП) в части решения задач КСП.	- Внедрение в систему КСП более функциональных и специализированных программных продуктов (Primavera, Plan-R). - Передача функций КСП от ГИП (РП) специализированному непроизводственному подразделению. - Ресурсное обеспечение компании квалифицированными специалистами по планированию, обладающими знаниями в области технологии проектирования объектов энергетики и владеющими функционалом современных систем КСП.
Ресурсное планирование деятельности	Ресурсное планирование деятельности компании на среднесрочную и долгосрочную перспективу выполняется нерегулярно, с использованием агрегированных оценочных данных, полученных от начальников производственных подразделений, ГИП (РП) и данных календарно-сетевых графиков проектов. Фактически отсутствует регулярно актуализируемый единый план ресурсной загрузки компании.	- Высокая трудоёмкость и низкая точность прогнозов ресурсной загрузки. - Отвлечение ГИП (РП) от решения актуальных задач проектов. - Невозможность оперативно составлять, корректировать план движения персонала и управлять его реализацией.	- Формирование в структуре компании аналитического блока с передачей в его функционал задач ресурсного планирования и прогнозирования проектов и компании в целом. - Разворот (при отсутствии), нормализация и актуализация (при существовании) детализированной базы данных трудоёмкости, длительности, структуры работ по реализованным проектам. - Разработка шаблона (калькулятора) ресурсной загрузки компании на задаваемую перспективу.

Табл. 2. Планирование и прогнозирование реализации проектов
Tab. 2. Project planning and forecasting

Аспект	Текущее состояние	Ключевые проблемы	Предложения по совершенствованию деятельности
Управление сроками и ритмичностью выполнения задач проектов	Детальный мониторинг и контроль исполнения сроков выдачи рабочей документации либо не осуществляются, либо выполняются фрагментарно, например, в рамках работ по календарно-сетевому планированию проекта, и не включаются в систему мотивации исполнителей.	- Разрыв между графиками выдачи рабочей документации (РД) и графиком строительно-монтажных работ. - Недостаточное внимание начальников функциональных подразделений к ритмичности и своевременности выдачи РД при слабых административных возможностях управления исполнителями со стороны ГИП (РП). - Незаинтересованность исполнителей во внеочередной выдаче комплектов РД по запросам площадок строительства.	- Взаимоувязанное формирование (при наличии возможностей) графиков разработки РД и выполнения СМР, либо формирование и сопровождение графика СМР на основании графика выпуска РД с расстановкой приоритетов задач. - При невозможности повышения роли ГИП (РП) в организационной структуре компании построение прозрачных и формализованных каналов коммуникации между организаторами СМР и руководителями функциональных подразделений с детальным учётом и контролем входящих запросов и направляемых материалов. - Разработка и включение в систему мотивации исполнителей и руководителей показателя, отражающего ритмичность и своевременность выпуска комплектов РД. - Внедрение мотивационных инструментов, стимулирующих внеочередной и внеплановых выпуск комплектов РД.
Мониторинг реализации проектов	Расчёт текущих показателей реализации проектов выполняется на основании преимущественно двух источников данных: результатов активирования работ и экспертных оценок ГИП (РП) о прогрессе по проекту. Текущий анализ освоенного объёма работ в разрезе трудозатрат или эквивалентных затрат не осуществляется.	- Невозможность точной оценки прогресса и промежуточных показателей проекта, вызванный значительным временным лагом активирования и необъективностью экспертной оценки ГИП (РП). - Возрастающий риск непредсказуемого ухудшения финансовых показателей проекта по мере его реализации. - Невозможность принятия обоснованных и своевременных управленческих решений по проекту как в отношении исполнителей, так и в отношении ГИП (РП).	- Реинжиниринг функций подразделения технического нормирования проектной деятельности с усилением аналитических функций и передачей ему от ГИП (РП) задач по мониторингу и анализу состояния проектов либо создание аналитического блока с аналогичным функционалом. - Увязка взаимодействия подразделения технического нормирования или аналитического блока с планово-экономическим блоком для синхронизации потока данных в части активирования, мониторинга и фиксации прогресса по проекту. - При формировании проектного офиса «под проект» включение в команду проекта специалиста в области технического нормирования или аналитика.
Управление состоянием проектов и ресурсами	В инструментарии ГИП (РП) отсутствуют комплексные информационные и технологические инструменты, позволяющие осуществлять оперативный мониторинг прогресса по проекту в разрезе специализаций и разделов, своевременно прогнозировать и корректировать диспропорции в распределении ресурсов на временной шкале проекта.	- Высокая сложность и низкая точность определения ключевых исполнителей, сдерживающих темп реализации проекта. - Невозможность прогнозировать и компенсировать дефицит трудовых ресурсов по проекту.	- Передача части специализированных функций и задач профильным специалистам непроизводственных подразделений или включением данных специалистов в состав команды проекта (функции КСП – специалистам по планированию, мониторинга показателей проектов – специалистам по техническому нормированию или аналитическому блоку). - Разработка и внедрение шаблонов аналитических и прогнозных отчётов, позволяющих заинтересованным лицам осуществлять текущий контроль использования ресурсов и мониторинг прогресса по проекту с детализацией до разделов и специализаций. - При формировании проектного офиса «под проект» включение в команду проекта специалиста в области технического нормирования или аналитика.

Табл. 3. Управление реализацией проектов
Tab. 3. Project implementation management

бизнес-процессов, кадрового и ресурсного насыщения компании специалистами, техническими средствами и специализированным программным обеспечением в области календарно-сетевого планирования, технического нормирования и производственной аналитики, а с другой стороны, создаст технологические и институциональные

условия для повышения скорости, ритмичности, качества и рентабельности производственной деятельности в рамках реализуемых и перспективных проектов.

В качестве дальнейшего развития и расширения исследования предметной области предполагается целесообразным аналогичное структурное рассмотрение проблем

Аспект	Текущее состояние	Ключевые проблемы	Предложения по совершенствованию деятельности
Управление субподрядными работами по проектам	Отсутствуют единый стандарт и система управления субподрядными работами. Зачастую субподрядные работы координируются ГИП (РП) в рамках своего проекта и руководителями функциональных подразделений, что, ввиду существенного отличия в механизмах выделения, передачи и приёма от субподрядных компаний выполненных работ, приводит к существенным временным и ресурсным затратам организаторов взаимодействия и снижает общий темп работ.	- Сложность, трудоёмкость прогнозирования и планирования субподрядных работ. - Высокие транзакционные издержки передачи проектных работ субподрядчикам с последующим приёмом и контролем их выполнения. - Отвлечение ГИП (РП) на организацию взаимодействия с субподрядчиками от решения актуальных задач проектов. - Риски образования неформальных каналов взаимодействия ГИП (РП), а также руководителей функциональных подразделений с субподрядными компаниями.	- Разработка стандарта прогнозирования и планирования субподрядных работ, формализующего бизнес-процессы проведения конкурсных процедур, передачи исходных данных, календарно-сетевого и оперативного планирования, мониторинга выполнения, приёмки и оценки качества выполненных работ. - Передача всех субподрядных работ по проектам в управление единому ГИП (РП) с функциональным подкреплением его специалистами в области КСП, технического нормирования и планово-экономической деятельности. - Внесение всех (текущих, плановых) субподрядных работ в календарно-сетевые графики (КСГ) проектов, а также в статистическую базу данных компании для возможности мониторинга и анализа. - Разработка механизма промежуточной оценки завершённости субподрядных работ для регулярного внесения в КСГ проекта и оценки прогресса по проекту.

Табл. 4. Управление субподрядными работами по проекту
Tab. 4. Project subcontracting management

управления технологичностью, трудоёмкостью, скоростью и качеством проектирования, а также мотивацией персонала и рабочим временем исполнителей [10]. Углублённое изучение данных вопросов позволит завершить формирование комплексной программы совершенство-

вания деятельности проектных компаний, охватив все необходимые процессные и проектные аспекты управления проектированием в области энергетического строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мalykha, Г. Г. Прогнозирование стоимости строительства / Г. Г. Мalykha, А. С. Павлов // Экономика строительства. – 2023. – № 4. – С. 48–52.

2. Проблемы управления проектированием объектов тепловой энергетики / И. Е. Воронков, Д. Г. Кожевников, Р. В. Островский, Б. А. Гамов. – DOI 10.54950/26585340_2023_2_89 // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 89–93.

3. Разработка элементов классификатора строительной информации для создания и ведения информационных моделей объектов капитального строительства в части процессов проектирования, управления строительными процессами и строительной информации / В. С. Тимченко, В. А. Волкодав, И. А. Волкодав, О. В. Тимченко, Н. А. Осипов. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.7.926-954 // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 7. – С. 926–954.

4. Kabulov, A. V. Algorithmic and mathematical methods for solving the problem of calendar planning based on dynamic functioning tables / A. V. Kabulov, I. I. Kalandarov, A. A. Karimov // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Vol. 29, No. 7. – Pp. 9090–9097.

5. Болотова, А. С. Проблемы внедрения технологии информационного моделирования в России / А. С. Болотова, Я. И. Маршавина. – DOI 10.54950/26585340_2021_2_70 // Строительное производство. – 2021. – № 2. – С. 70–80.

6. Voronkov, I. Structure of realized risks of projects for construction nuclear power plant by Rosatom State Corporation in 2010-2020 / I. Voronkov, R. Ostrovskii. – DOI 10.1051/

e3sconf/202125809081 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum on Sustainable Development of Industrial Region, UESF 2021, Chelyabinsk, 17–19 февраля 2021 года. – 2021. – Vol. 258. – P. 09081.

7. Morozenko, A. Human resource management as an element of sustainable nuclear power plant construction / A. Morozenko, N. Shvets. – DOI 10.1051/e3sconf/202345702026 // E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Symposium "The Future of the Construction Industry: Challenges and Development Prospects", Moscow, 18–22 сентября 2023 года. – 2023. – Vol. 457. – P. 02026.

8. Гурьев, В. В. Типовое и экспериментальное проектирование – стратегический вектор развития индустриального гражданского строительства / В. В. Гурьев, А. Н. Дмитриев, С. И. Яхкинд. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.07.40-47 // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 7. – С. 40–47.

9. Бидов, Т. Х. Систематизация факторов, влияющих на эффективность реализации строительного проекта генподрядной организацией в направлении Fit-out / Т. Х. Бидов, А. Д. Котельникова. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-1-270-274 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 270–274.

10. Горшков, А. А. Повышение эффективности организации труда на основе рационального движения персонала при сооружении сложных инженерных объектов / А. А. Горшков, А. А. Морозенко // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – № 10 (124). – С. 12–17.

REFERENCES

1. Malykha, G. G. Prognozirovanie stoimosti stroitel'stva [Forecasting the cost of construction] / G. G. Malykha, A. S. Pavlov // Ekonomika stroitel'stva [Economics of construction]. – 2023. – No. 4. – Pp. 48–52.

2. Problemy upravleniya proektirovaniem ob'ektov teplovoj eh-

nergetiki [Problems of design management of thermal power engineering facilities] / I. E. Voronkov, D. G. Kozhevnikov, R. V. Ostrovsky, B. A. Gamov. – DOI 10.54950/26585340_2023_2_89 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – No. 2. – Pp. 89–93.

3. Razrabotka ehlementov klassifikatora stroitel'noj informatsii

dlya sozdaniya i vedeniya informatsionnykh modelej ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva v chasti protsessov proektirovaniya, upravleniya stroitel'nymi protsessami i stroitel'noj informatsii [Development of building information classifier elements to create and maintain information models of capital construction objects in terms of design processes, construction process management and construction information] / V. S. Timchenko, V. A. Volkodav, I. A. Volkodav, O. V. Timchenko, N. A. Osipov. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.7.926-954 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2021. – Vol. 16, No. 7. – Pp. 926–954.

4. Kabulov, A. V. Algorithmic and mathematical methods for solving the problem of calendar planning based on dynamic functioning tables / A. V. Kabulov, I. I. Kalandarov, A. A. Karimov // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Vol. 29, No. 7. – Pp. 9090–9097.

5. Bolotova, A. S. Problemy vnedreniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v Rossii [Problems of the implementation of BIM technologies in Russia] / A. S. Bolotova, Ya. I. Marshavina. – DOI 10.54950/26585340_2021_2_70 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2021. – No. 2. – Pp. 70–80.

6. Voronkov, I. Structure of realized risks of projects for construction nuclear power plant by Rosatom State Corporation in 2010-2020 / I. Voronkov, R. Ostrovskii. – DOI 10.1051/e3sconf/202125809081 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum on Sustainable Development of Industrial Region, UESF 2021, Chelyabinsk, 17–19 февраля 2021 года. – 2021. – Vol. 258. – P. 09081.

7. Morozenko, A. Human resource management as an element of sustainable nuclear power plant construction / A. Morozenko,

УДК 004.9:69

Преобразование структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий на этапе эксплуатации

Transformation of the Structure and Composition of a Building Information Classifier Towards the Application of BIM Technologies at the Facility Operating Stage

Попова Ольга Николаевна

Кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Автомобильные дороги и строительное производство», ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17, oly-popova@yandex.ru

Popova Olga Nikolaevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Highways and Construction Production, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (NArFU), Russia, 163002, Arkhangelsk, naberezhnaya Severnoj Dviny, 17, oly-popova@yandex.ru

Аннотация. В ходе цифровой трансформации строительной отрасли особое внимание уделяется внедрению технологий информационного моделирования (ИМ) на всех стадиях жизненного цикла объектов капитального строительства (ОКС). Однако существующая нормативная база, положенная в основу Классификатора строительной информации (КСИ), преимущественно охватывает этапы изысканий, проектирования и частично строительства, практически не учитывая специфику эксплуатационной фазы.

Целью работы является изучение и преобразование структуры и состава классификации строительной информации (КСИ) для ИМ ОКС на этапе эксплуатации.

Сложившийся подход к формированию ИМ ОКС предполагает представление системы в виде совокупности взаимосвязанных процессов создания строительных элементов с фиксированными характеристиками, остающимися неизменными на протяжении всего жизненного цикла. Такой статичный принцип построения ИМ не отражает реальных особенностей эксплуата-

N. Shvets. – DOI 10.1051/e3sconf/202345702026 // E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Symposium "The Future of the Construction Industry: Challenges and Development Prospects", Moscow, 18–22 сентября 2023 года. – 2023. – Vol. 457. – P. 02026.

8. Gur'ev, V. V. Tipovoe i ehksperimental'noe proektirovanie – strategicheskij vektor razvitiya industrial'nogo grazhdanskogo stroitel'stva [Standard and Experimental Design Is a Strategic Vector for the Development of Industrial Civil Construction] / V. V. Guryev, A. N. Dmitriev, S. I. Yakhkind. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.07.40-47 // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. – 2022. – No. 7. – Pp. 40–47.

9. Bidov T.H., Kotelnikova A.D. Sistematizatsiya faktorov, vliyayushhikh na ehffektivnost' realizatsii stroitel'nogo proekta genpodryadnoj organizatsiej v napravlenii Fit-out [Systematization of factors affecting the efficiency of the implementation of a construction project by a general contractor in the direction of FIT-OUT] // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. – 2023. – No. 1. – Pp. 270–274.

10. Gorshkov A.A., Morozenko A.A. Povyshenie ehffektivnosti organizatsii truda na osnove ratsional'nogo dvizheniya personala pri sooruzhenii slozhnykh inzhenernykh ob'ektov [Improving the efficiency of labor organization based on the rational movement of personnel during the construction of complex engineering facilities] // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and Business: Ways of Development]. – 2021. – No. 10 (124). – Pp. 12–17.

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_87

дать основу для дальнейшего развития КСИ.

Ключевые слова: классификатор строительной информации; информационное моделирование; классификационная

Abstract. The aim of research is to study and transform the structure and composition of building information classification for maintenance and repairs informational modeling during the facility operating stage.

Special attention is given to the need for and possibility of using information technologies for modelling at all stages of the life cycle. The normative and technical documents that have become the basis for the development of a building information classification, relate to the research and design stages, partly to the construction stage and almost do not touch on the facility operation stage. The building is considered as a set of interrelated «Processes» creating each element. Their totality is a single system that remains throughout the building life cycle. The characteristics of the elements are fixed and not subject to change

Введение

Цифровая трансформация строительной отрасли требует комплексного внедрения технологий информационного моделирования (ИМ) на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства (ЖЦ ОКС). Эта стратегическая задача закреплена в нормативно-правовой базе, включая Градостроительный кодекс РФ, технические регламенты, и подтверждена актуальными научными исследованиями [1–5]. В концепции ИМ ОКС рассматриваются как сложные системные объекты, что открывает новые возможности для управления ими через цифровые взаимосвязанные данные.

Ключевым инструментом систематизации элементов ОКС выступает Классификатор строительной информации (КСИ), введённый 1 декабря 2020 года. Разработанный с учётом международного опыта и российских нормативных требований (Постановления Правительства РФ № 20 от 19.01.2006, № 87 и № 145 от 05.03.2007), КСИ играет важнейшую роль в унификации данных информационного моделирования.

Однако анализ действующей нормативной базы [6–9] показывает, что существующая система классификации преимущественно ориентирована на этапы изысканий,

система; управление жизненным циклом объекта капитального строительства; BIM.

throughout the life cycle of the building. This approach to the building information model does not take into account the peculiarities of its management (use) in the facility operating stage.

The article proposes a method of multi-criteria element-based assessment of physical wear, which assumes dynamic change of technical state of building elements.

As a result of technical standards systematization, a list of unified defects in the classification table «Properties» with their corresponding coding was formed (about 120 unified criteria for 11 enlarged building elements). The main advantages of using the classification table «Properties» and proposals for further expansion and refinement of building information classifier are given.

Keywords: building information classifier; information modeling; classification system; life cycle management; BIM.

проектирования и строительства, тогда как вопросы эксплуатации и технического обслуживания зданий остаются недостаточно проработанными. Это находит отражение в слабой регламентации данных процессов нормативными документами (в частности, СП 333.1325800.2020) и низкими темпами внедрения цифровых решений, что существенно снижает эффективность управления объектами на протяжении всего жизненного цикла.

В связи с этим назрела необходимость модернизации КСИ с акцентом на эксплуатационные процессы, включая непрерывный мониторинг состояния конструкций; систему технического обслуживания и планирования ремонтов; эффективное управление ресурсами.

Цель исследования – совершенствование структуры КСИ для адаптации к задачам эксплуатации ОКС посредством:

- расширения классификационных категорий (введение новых классов, связанных с обслуживанием и ремонтами);
- детализации взаимосвязей между элементами (например, определение влияния «процесса ремонта» на «эксплуатационные характеристики»).

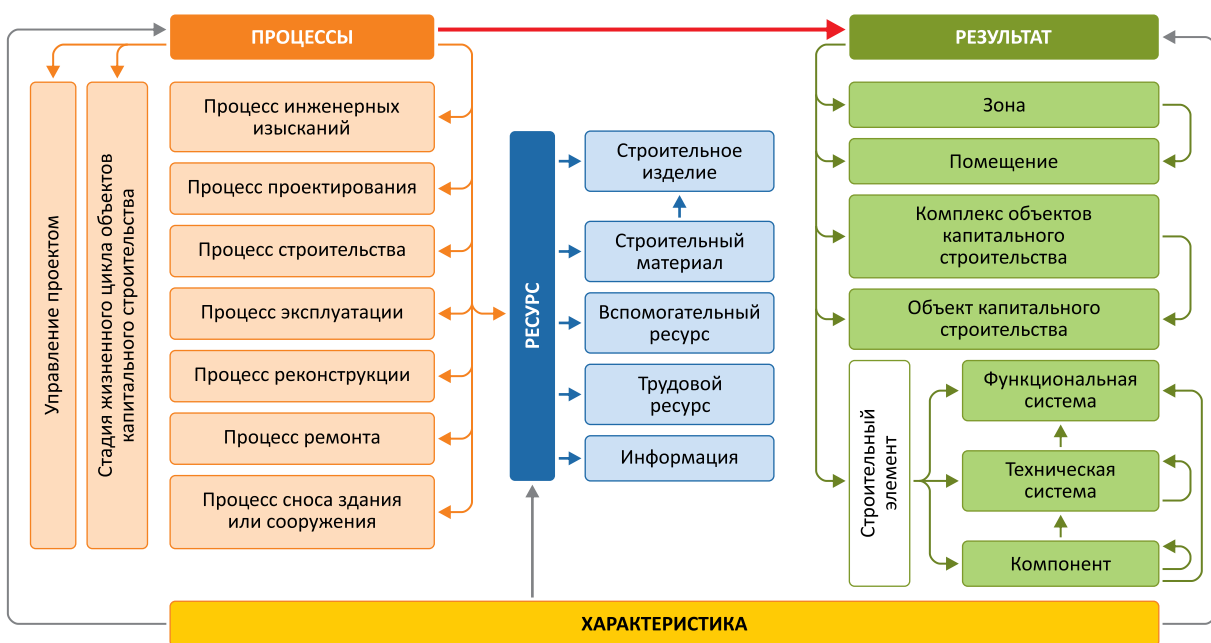


Рис. 1. Схема базовых категорий (классов) строительной информации и их отношений согласно КСИ
Fig. 1. Scheme of basic categories (classes) of building information and their relations according to the classifier building information classifier

Данные преобразования позволят создать комплексную систему управления объектами капитального строительства, охватывающую все этапы их жизненного цикла.

Материалы и методы

В ходе проведённого исследования применялся комплекс научных методов, включая системный подход, сравнительный анализ и метод обобщения. Особое внимание было уделено анализу действующего законодательства и технических регламентов в сфере технической эксплуатации, обследования зданий и строительной классификации. Данная методологическая база позволила сформулировать научно обоснованные требования к структуре и составу КСИ применительно к этапу эксплуатации зданий, а также определить перспективные направления его совершенствования.

Теоретической основой исследования выступили действующий Классификатор строительной информации, нормативно-правовые, регламентирующие документы (Постановление Правительства РФ от 12.09.2020 № 1416 и Приказ Минстроя РФ от 06.08.2020 № 430/пр).

Концептуальная модель КСИ базируется на системном распределении базовых классов по четырём фундаментальным категориям: «Результат», «Процесс», «Ресурс», «Характеристика» (рисунок 1). Между классами установлены типы связей («является частью», «описывает», «выполнено из»), что обеспечивает соответствие принципам информационного моделирования (BIM) и создаёт целостную систему классификации.

В соответствии с Федеральным законом «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ и сопутствующими нормативно-техническими документами, КСИ охватывает все ключевые стадии жизненного цикла объекта: инженерные изыскания («Процесс инженерных изысканий»); проектирование («Процесс проектирования»); строительство («Процесс строительства»); эксплуатация («Процесс эксплуатации»); реконструкция/ремонт («Процесс реконструкции, ремонта»); снос («Процесс сноса»).

Для каждого этапа предусмотрены соответствующие классы («Объект капитального строительства», «Техническая система», «Компонент»), что обеспечивает сквозную стандартизацию данных на протяжении всего жизненного цикла.

Согласно [1], «базовые категории строительной информации позволяют моделировать основной процесс, направленный на получение определённого строительного результата. Данная конфигурация отношений между базовыми категориями строительной информации является универсальной и сохраняется на всём протяжении ЖЦ ОКС».

Проведённый анализ выявил значительную степень корреляции между классами КСИ и основными сущностями Industry Foundation Classes (IFC):

- Результат → IfcBuilding, IfcSite, IfcSpace.
- Строительный элемент → IfcWall, IfcSlab, IfcBeam.
- Техническая система → IfcElectricalCircuit, IfcHVACSystem.
- Ресурс → IfcMaterial, IfcLabourResource.
- Характеристика → IfcPropertySet, IfcQuantity.

Установлено, что типы связей в КСИ имеют прямые аналоги в IFC-стандарте (IfcRelAggregates, IfcRelContained InSpatialStructure). Это подтверждает, что Классификатор

может эффективно выполнять функцию семантической основы для формирования IFC-моделей, обеспечивая необходимую степень стандартизации данных на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства.

Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале КСИ как инструмента цифровизации строительной отрасли, одновременно выявляя направления для его дальнейшего совершенствования, в особенности в части регламентации процессов эксплуатации и технического обслуживания зданий.

Результаты

На этапе эксплуатации объектов строительства наибольшая доля ресурсов отвлекается на осуществление технического обслуживания и ремонтов и, прежде всего, направлена на восстановление технического состояния ОКС. Современные программы технической эксплуатации базируются на поэлементном планово-предупредительном методе организационно-технологического проектирования ремонтов. Он подразумевает оценку фактического технического состояния отдельных строительных элементов. Долгосрочное и среднесрочное планирование основывается на прогнозе изменения технического состояния элементов. Техническая эксплуатация (в особенности поэлементная, основанная на предупредительном методе) представляет собой совокупность «Процесса эксплуатации» и «Процесса ремонта», отнесённых к каждому строительному элементу.

Анализ структуры отношений элементов КСИ показал, что информационная модель ОКС представлена в виде совокупности взаимосвязанных «Процессов» создания отдельных элементов, образующих единую систему. Характеристики элементов зафиксированы и не подвержены изменениям на этапе эксплуатации. Этот подход не учитывает особенности ведения (использования) ИМ ОКС на этапе эксплуатации и не может быть реализован. Идентификация характеристик технического состояния, мониторинг их изменения под воздействием факторов износа и процесса ремонта как для объекта в целом, так и для отдельных элементов в данной структуре не представляется возможным.

Согласно представленной схеме системы ОКС на основании КСИ, каждый элемент можно структурированно описать базовыми классами строительной информации («Результат» на рисунке 1): функциональная система, техническая система, компонент. Для описания элементов предложена базовая категория «Характеристика». Согласно ГОСТ Р ИСО 22274-2016, «характеристика – это отличительное свойство».

Анализ Классификатора строительной информации показал, что в его структуре есть только одна характеристика, описывающая физическое состояние объекта – процент износа здания. Но подобный способ оценки технического состояния является малоинформативным и не даёт возможности поэлементного планирования и организации эксплуатации и ремонтов. Следовательно, необходимо ввести иной способ идентификации износа элементов здания.

С одной стороны, износ конструктивных элементов и здания в целом является процессом постоянным, как и процессы устранения износа в ходе ремонтно-восстановительных работ, т. е. характеристики дефектов постоянно меняются. С другой стороны, те или иные типы

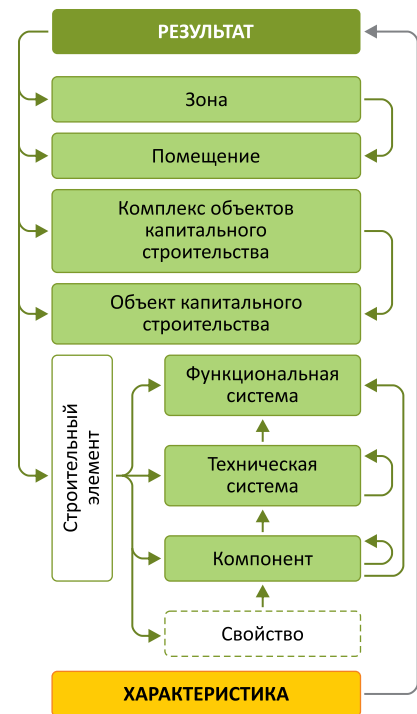


Рис. 2. Фрагмент схемы КСИ
Fig. 2. Fragment of the scheme building information classifier

дефектов присущи разным видам конструкций. Поэтому целесообразно дефекты выделить в отдельный базовый класс строительной информации «Свойство». Согласно

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	№	Клас	Подк	Подк	Код класс	Наименование Класса,Подкласса,Эле	Описани	Классиф	Ключе	Ссылк	Источники	
2		A				Критерии оценки технического состо	Каждое с	Св_Sv			ГОСТ 15467-75	
3			AA			Фундаменты и стены подвалов	Видимая	Св_Sv			СП 454	
4					AA_001	Физическое отсутствие единичной к	Физичес	Св_Sv			СП 454, СП пре	
5					AA_002	Вертикальная осадка цоколя (искри	Вертикал	Св_Sv			СП 454, СП пре	
6					AA_003	Разрушение отмостки	Отмостки	Св_Sv			Пост. 170, Ст.	
7					AA_004	Разрушение и/или отсутствие гидро	Горизонт	Св_Sv			СП проект, Ст.	
8					AA_005	Дефекты водоотводящих устройств	Впадины	Св_Sv			Пост. 170, Ст.	
9					AA_006	Недостаточная вентиляция - неправ	Площадь	Св_Sv			Пост. 170	
10					AA_007	Поражение поверхности грибком и	Появлен	Св_Sv			Пост. 170	
11				AAA		Фундамент и стены подвалов из бет	Фундаме	Св_Sv				
12					AAA_001	Трещина в цокольной части, стене п	Сквозная	Св_Sv			СП 454, СП пре	
13					AAA_002	Выпучивание из плоскости стены по	Выпучив	Св_Sv			СП 454, СП пре	
14					AAA_003	Разрушение материала по толщине	Разруше	Св_Sv			СП 454. СП при	
15					AAA_004	Повреждения арматуры или структу	Уменьше	Св_Sv			СП 454	
16					AAA_005	Разрушение герметизации стыков и	Выщелач	Св_Sv			СП проект, Ст.	
17					AAA_006	Разрушение прямиков, входов в под	Стенки г	Св_Sv			Пост. 170	
18					AAA_007	Деформация полов подвала – прова	В технич	Св_Sv			Пост. 170, Ст.	
19				AAB		Фундамент из древесины	Фундаме	Св_Sv				
20					AAB_001	Разрушение (поражение гнилью) ма	Разруше	Св_Sv			СП 454	
21				AB		Колонны	Колонна	Св_Sv				
22					AB_001	Физическое отсутствие единичной к	Физичес	Св_Sv			СП 454	
23					AB_002	Крен	Крен	Св_Sv			СП 454	
24					AB_003	Выгиб колонны	Горизонт	Св_Sv			СП 454	
25				ABA		Колонны из железобетона и кирпич	Дефекты	Св_Sv				
26					ABA_001	Трещины	Наклонн	Св_Sv			СП 454	

Рис. 3. Фрагмент классификационной таблицы КСИ «Свойства»
Fig. 3. Fragment of the classification table «Properties»

ГОСТ Р ИСО 22274-2016, «свойство – это конкретная характеристика, подходящая для описания и разграничения объектов в рамках класса» (рисунок 2). Таким образом, «Свойство» описывает присущие элементу качество или признаки, а «Характеристика» даёт количественную или описательную оценку свойств.

У каждого строительного элемента (функциональной, технической системы или компонента, в зависимости от уровня детализации модели) есть определённые свойства, которые заложены их архитектурно-строительным и конструктивным исполнением на этапах проектирования и строительства. На этапе эксплуатации именно свойства элементов подлежат учёту и воздействию.

Многокритериальная поэлементная оценка технического состояния предполагает выявление всей совокупности возможных дефектов строительных элементов и их кодировку путём формирования новой классификационной таблицы «Свойства».

Формирование информационной базы об объектах строительства, включая их техническое состояние, сталкивается с проблемой унификации информации. Унифицированные критерии оценки технического состояния единичных строительных элементов разработаны на основе документов технического регламента и нормативно-правового регулирования обследования, планирования и организации капитального ремонта. В результате систематизации технических нормативов (см. рисунок 3, столбец «Источники») в составе «Свойств» КСИ были

сформированы унифицированные дефекты строительных элементов с их соответствующей кодировкой – порядка 120 унифицированных критериев по 11 укрупнённым строительным элементам здания (рисунок 3). Классификационная таблица «Свойства» представлена и описана аналогично иным базовым классам строительной информации в соответствии с требованиями КСИ.

Оценка технического состояния (дефекта) элемента привязана к свойствам, присущим данному классу строительных элементов. Таким образом, описание технического состояния каждого строительного элемента заключается в выявлении того или иного его «свойства» (дефекта) и его «характеристики» (количественной оценки). Имеющийся на текущий момент в КСИ перечень характеристик позволяет закрыть потребности описания (количественной оценки) представленных в исследовании критериев оценки технического состояния единичных строительных элементов.

Заключение

Предложенный в исследовании подход к формированию ИМ ОКС и преобразование структуры и состава КСИ позволит:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волкодав, В. А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий / В. А. Волкодав, И. А. Волкодав – DOI 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906 // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, № 6. – С. 867–906.
- Гинзбург, А. В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта / А. В. Гинзбург // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 5 (153). – С. 28–31.
- Титова, И. Д. История возникновения и развития классификаторов строительной информации / И. Д. Титова, В. А. Волкодав. – DOI 10.18720/ CUBS.86.2 // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2020. – № 1 (86). – С. 20–29.
- Попова, О. Н. Проблемы и задачи построения цифровой информационной модели зданий для реализации программ капитального ремонта жилищного фонда / О. Н. Попова, А. С. Заостровская, А. Ф. Юдина. – DOI 10.31659/0044-4472-2024-1-2-80-86 // Жилищное строительство. – 2024. – № 1-2. – С. 80–86.
- Edirisinghe, R. Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption / R. Edirisinghe, K. London // Proceeding of the 32nd CIB W78

REFERENCES

- Volkov, V. A. Razrabotka struktury i sostava klassifikatora stroitel'noj informatsii dlya primeneniya BIM-tekhnologii [Development of the structure and composition of a building information classifier towards the application of BIM technologies] / V. A. Volkova, I. A. Volkov. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2020. – No. 15 (6). – Pp. 867–906.
- Ginzburg, A. V. BIM-tekhnologii na protyazhenii zhiznennogo tsikla stroitel'nogo ob`ekta [BIM-technologies in the process of life cycle of construction projects] // Informatsionnye resursy Rossii [Information resources of Russia]. – 2016. – No. 5 (153). – Pp. 28–31.
- Titova, I. D. Istoriya vozniknoveniya i razvitiya klassifikatorov stroitel'noj informatsii [The history and development of the classification system for the construction industry] / I. D. Titova, V. A. Volkodav. – DOI 10.18720/ CUBS.86.2 // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. – 2020. – No. 1 (86). – Pp. 20–29.
- Popova, O. N. Problemy i zadachi postroeniya tsifrovoy informatsonnoj modeli zdaniy dlya realizatsii programm kapital'nogo remonta zhilishhnogo fonda [Problems and tasks of building a

- осуществить полноценное внедрение технологий информационного моделирования на этапе эксплуатации;
- реализовывать на практике новые подходы к организационно-технологическому проектированию, основанные на поэлементном предупредительном методе технического обслуживания и ремонтов ОКС;
- повысить точность оценки технического состояния ОКС, особенно при сплошном (массовом) мониторинге и снизить трудоёмкость процесса формирования ИМ ОКС;
- сформировать инструменты (каталоги «Свойств») для разработки цифровых информационных моделей ОКС на этапе эксплуатации.

В рамках настоящего исследования рассматривались отдельные «Свойства» элементов системы ОКС, отражающие физический износ строительных конструкций (технических систем). Однако перечень «Свойств» должен быть расширен и дополнен иными характерными свойствами ОКС (например, фактическая энергоэффективность, экологическое воздействие и пр.) [5; 10].

Conference, Eindhoven, Netherlands, October, 2015. – 2015. – Pp. 149–158.

- Zayton, H., Safdari, H. The role of interoperability in construction projects. Communication and the implementation of CoClass : Master's Thesis in the Master's Programme Design and Construction project management / Hydro Zayton, Hamed Safdari ; Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2018.
- Ekholm, A. A critical analysis of international standards for construction classification – results from the development of a new Swedish construction classification system / A. Ekholm // Proceeding of the 33rd CIB W78 Conference, Brisbane, Australia, 2016. – Brisbane, 2016.
- Разработка элементов классификатора строительной информации для создания и ведения информационных моделей объектов капитального строительства в части процессов проектирования, управления строительными процессами и строительной информации / В. С. Тимченко, В. А. Волкодав, И. А. Волкодав, О. В. Тимченко, Н. А. Осипов. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.7.926-954 // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 7. – С. 926–954.

digital information model of buildings for the implementation of capital repair programs of the housing stock] / O. N. Popova, A. S. Zaostrovskaya, A. F. Yudina. – DOI 10.31659/0044-4472-2024-1-2-80-86 // Zhilishhnoe stroitel'stvo [Housing Construction]. – 2024. – No. 1-2. – Pp. 80–86.

- Edirisinghe, R. Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption / R. Edirisinghe, K. London // Proceeding of the 32nd CIB W78 Conference, Eindhoven, Netherlands, October, 2015. – Pp. 149–158
- Zayton, H., Safdari, H. The role of interoperability in construction projects. communication and the implementation of CoClass : Master's Thesis in the Master's Programme Design and Construction project management / Hydro Zayton, Hamed Safdari ; Chalmers University Of Technology, Goteborg, Sweden, 2018.
- Ekholm, A. A critical analysis of international standards for construction classification – results from the development of a new Swedish construction classification system / A. Ekholm // Proceeding of the 33rd CIB W78 Conference, Brisbane, Australia, 2016. – Brisbane, 2016.
- Razrabotka ehlementov klassifikatora stroitel'noj informat-

sii dlya sozdaniya i vedeniya informatsionnykh modelej ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva v chasti protsessov proek-tirovaniya, upravleniya stroitel'nyimi protsessami i stroitel'noj informatsii [Development of elements of the classifier of construction information for the creation and maintenance of information models of capital construction facilities in

terms of design processes, management of construction processes and construction information] / V. S. Timchenko, V. A. Volkodav, I. A. Volkodav, O. V. Timchenko, N. A. Osipov. – DOI 10.22227/1997- 0935.2021.7.926-954 // Vestnik MGSU [Bul-letin of MGSU]. – 2021. – Vol. 16, Iss. 7. – Pp. 926–954.

УДК 69.009

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_92

Применение информационных технологий в строительном контроле

Application of Information Technologies in Construction Control

Лapidус Азари́й Абрамович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, lapidus58@mail.ru

Lapidus Azariy Abramovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, lapidus58@mail.ru

Хитрова Татьяна Исхаковна

Доктор экономических наук, доцент, доцент кафедры «Математические методы и цифровые технологии», ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» (БГУ), Россия, 664003, Иркутск, улица Ленина, 11, khitrova_46@mail.ru

Khitrova Tatiana Iskhakovna

Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University (BSU), Russia, 664003, Irkutsk, Lenina uklitsa, 11, khitrova_46@mail.ru

Щукин Алексей Юрьевич

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, 89834045064@mail.ru

Shchukin Aleksey Yurievich

Postgraduate student of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, 89834045064@mail.ru

Аннотация. В условиях увеличения количества возводимых объектов особую значимость в реализации процессов строительства представляет проведение строительного контроля. Строительный контроль необходим для контроля качества всех выполняемых работ на предмет соответствия их проектной и рабочей документации, а также нормативным документам и технологиям выполнения работ. Однако строительный контроль на территории Российской Федерации сталкивается с несколькими ключевыми проблемами, к которым можно отнести фальсификацию документации, отсутствие прозрачности на всех этапах жизненного цикла проекта и трудности с обеспечением эффективного контроля строительного процесса в соответствии с актуальной рабочей и проектной документацией.

Целью исследования является определение основных проблемных областей в деятельности консалтинговой компании, из-за которых могут возникнуть критические проблемы в деятельности организаций. Задачей исследования является описание бизнес-процесса консалтинговой компании по строительному контролю с последующим выявлением проблемных областей в её деятельности, которые будут решены примени-

Abstract. In the conditions of increasing number of constructed objects, construction control is of particular importance in the implementation of construction processes. Construction control is necessary to control the quality of all works performed to ensure their compliance with design and working documentation, as well as regulatory documents and technologies of work execution.

ем информационных технологий.

В выдвинутой гипотезе предполагается, что формирование бизнес-процессов помогает в организации деятельности консалтинговой компании и позволяет определить «белые пятна» в рамках данной компании. Зная слабые места в деятельности организации, можно устранить их, применив информационные технологии, которые улучшат качество управления строительным объектом. Для анализа взаимодействия участников будет использоваться сформированная BPMN-диаграмма, описывающая основных участников и бизнес-процессы, происходящие в компании.

Результатом исследования будет являться сформированная BPMN-диаграмма для консалтинговой компании строительного контроля с выделенными областями, где в последующем будут применяться информационные технологии.

Ключевые слова: строительный контроль, консалтинговая компания, бизнес-процессы, BPMN-диаграмма, организация строительства, информационные технологии, организационная структура.

However, construction control in the Russian Federation faces several key problems, including falsification of documentation, lack of transparency at all stages of the project life cycle and difficulties in ensuring effective control of the construction process in accordance with the current working and design documentation.

The purpose of the study is to identify the main problem areas

in the consulting firm's business due to which critical problems may arise in the organization's performance. The task of the study is to describe the business process of the consulting company on construction control with the subsequent identification of problem areas in the activities of companies, which will be solved by the application of information technology.

The hypothesis put forward suggests that the formation of business processes helps in organizing the activities of the consulting company and allows to identify "white spots" within this company. Knowing the weak spots in the activities of the organization, it is possible to eliminate them by applying information

Введение

Строительство является одной из активно развивающихся отраслей экономики России. В последние десятилетия строительство оказывает значительное влияние на социальное и экономическое развитие государства. Строительный контроль является важным этапом в сфере строительства. Проблема качества строительного контроля возникает в связи со сложной структурой организации процесса: его регламентированной многоэтапностью и множественностью участников. Вследствие этого возникают проблемы с оценкой качества строительных работ, безопасности объектов, а также с соблюдением норм и правил в сфере строительства [1].

Строительный контроль является обязательным на каждом из этапов жизненного цикла объекта. В ранее опубликованной статье [2; 3] рассматривается передача функций строительного контроля от генерального подрядчика и технического заказчика отдельной консалтинговой компании. В рамках дальнейшего исследования планируется повысить эффективность деятельности данной консалтинговой компании.

Актуальной задачей в рамках статьи является формирование бизнес-процесса с помощью BPMN-диаграммы с выявлением проблемных мест, где могут быть применены информационные технологии. Для проблемных мест в данной работе вводится понятие «белые пятна». Сформированная диаграмма обеспечивает эффективное управление при реализации проектов в строительстве на основе рациональной организации информации. При устранении выявленных проблемных мест организации в последующем можно будет достичь прозрачности, рационализации процессов строительства и повысить эффективность функций строительного контроля, что, в свою очередь, повышает качество строительных проектов.

Сформированная в рамках статьи BPMN-диаграмма позволяет выделить «белые пятна» в деятельности строительного контроля консалтинговой компании, которые,

technology, which will improve the quality of management of the construction project. To analyze the interaction of participants will be used formed BPMN-diagram describing the main participants and business processes occurring in the company.

The result of the research will be a formed BPMN-diagram for the construction control consulting company with highlighted areas where information technologies will be applied in the future.

Keywords: construction control, consulting company, business processes, BPMN-diagram, construction organization, information technology, organizational structure.

в свою очередь, могут быть устранены с помощью современных информационных технологий.

Материалы и методы

На территории Российской Федерации в настоящее время активно применяются информационные технологии в строительной отрасли. Если рассматривать технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительстве согласно Постановлению Правительства РФ № 614 от 17.05.2024 г., они становятся обязательными к применению с 1 января 2025 года. Минстрой опубликовал документ «Перечень российского программного обеспечения для субъектов градостроительной деятельности в соответствии с данными Единого реестра российского программного обеспечения для ЭВМ», который включает 345 программ российского ПО, применяемых в строительстве. Проанализировав данные документы, можно сделать вывод, что применение информационных технологий в строительной отрасли на территории Российской Федерации является актуальной задачей, которая позволяет повысить качество и сократить трудозатраты в данной сфере.

Строительный контроль подразделяется на входной, операционный и приёмочный. Процессы разделены по стадиям строительства, на которых выполняется строительный контроль: стадия «Проектирование» и стадия «Строительство». В ходе написания статьи необходимо было определить проблемные места в организации процесса проведения строительного контроля с целью оптимизации процессов и сокращения доли человеческих ошибок [4–6].

Решить данную проблему возможно путём применения BPMN-диаграммы, которая описывает бизнес-процесс, происходящий в консалтинговой организации. Методология BPMN (Business Process Model and Notation) обеспечивает наглядное и точное представление потока процесса управления, который показывает последовательность выполнения шагов и принятия решений, своего рода дорожная карта процесса. BPMN предоставляет



Рис. 1. Основные участники для формирования BPMN-диаграммы
Fig. 1. Main participants for BPMN-diagram formation

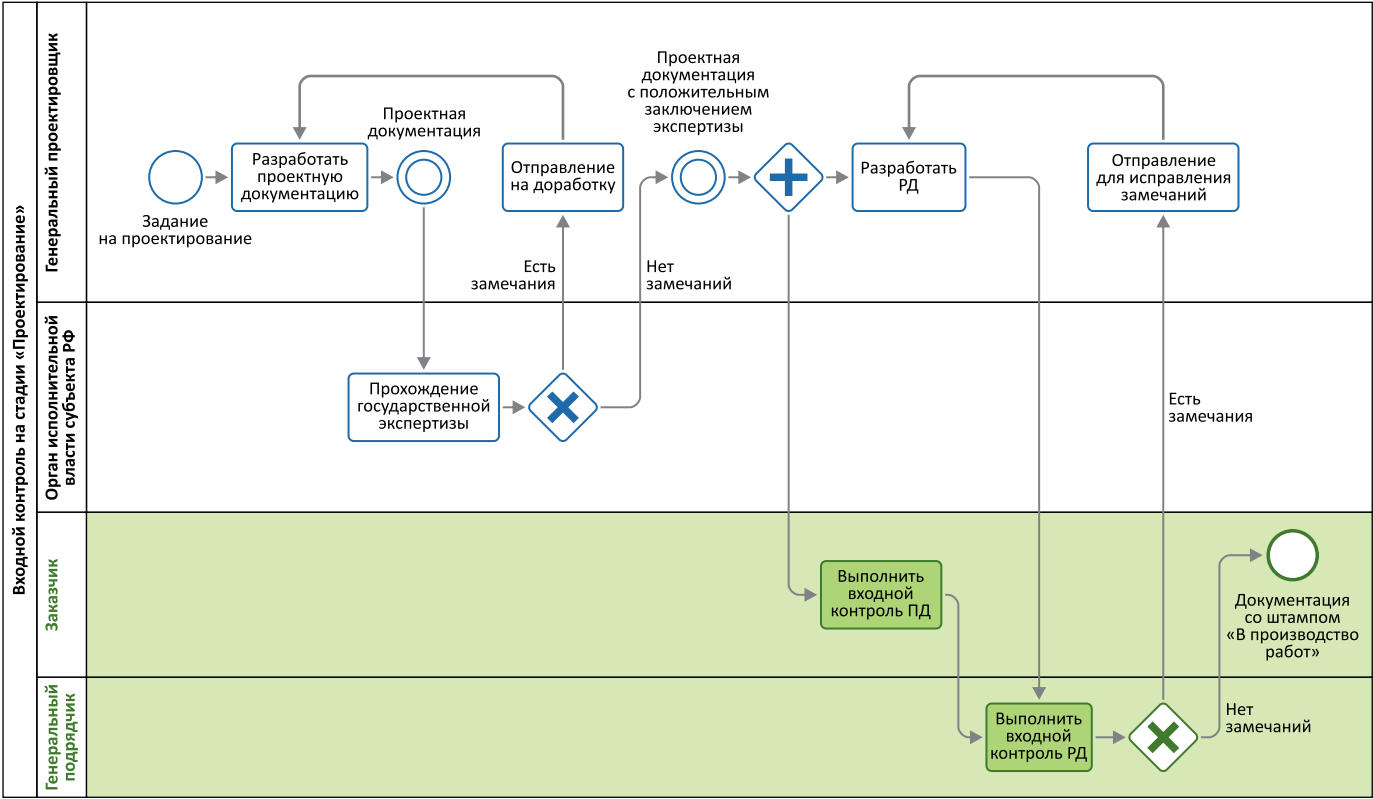


Рис. 2. Входной контроль на стадии «Проектирование» при проведении строительного контроля генеральным подрядчиком и заказчиком

Fig. 2. Input control at the “Design” stage during construction control by the general contractor and the customer

возможность визуализировать последовательность операций, точки принятия решений, параллельные рабочие потоки и взаимодействие участников процесса. Графическая форма представления BPMN позволяет проводить анализ процессов строительного контроля, выявляя узкие места и области для оптимизации.

На рисунке 1 можно увидеть основные этапы и участников консалтинговой компании строительного контроля.

Для выявления «белых пятен» в организации строительного контроля был использован статистический метод обработки данных, в результате которого происходит систематизация данных в табличном или графическом виде.

Результаты

Реструктуризация процесса строительного контроля на стадии «Проектирование»

BPMN-диаграмма, представленная на рисунке 2, описывает реализуемую в настоящее время схему входного

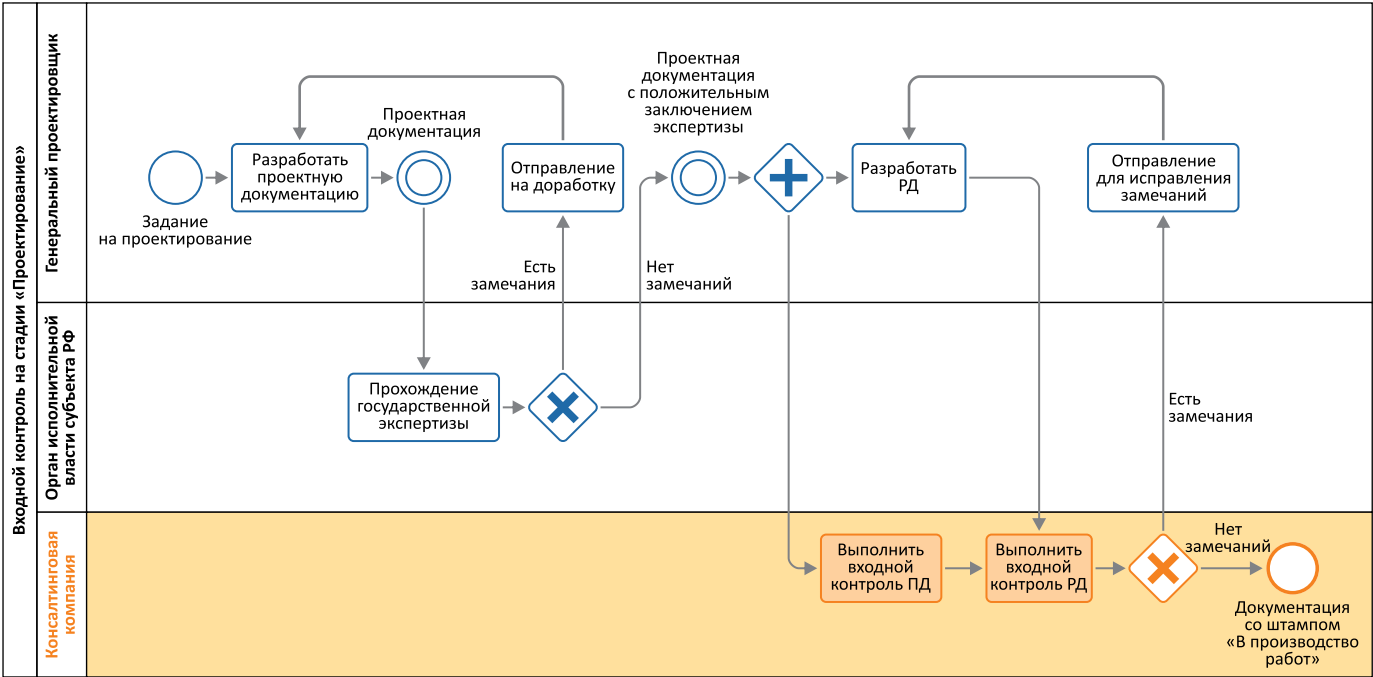


Рис. 3. Входной контроль на стадии «Проектирование» при проведении строительного контроля консалтинговой компанией

Fig. 3. Input control at the stage “Design” when carrying out construction control by a consulting company

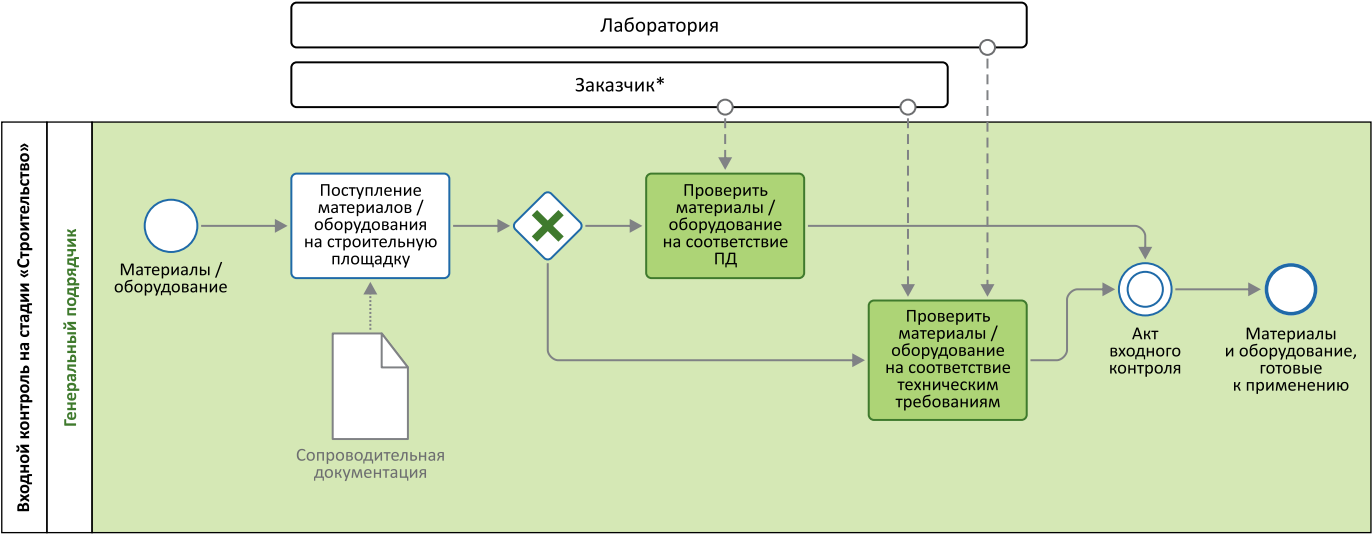


Рис. 4. Входной контроль на стадии «Строительство» при проведении строительного контроля генеральным подрядчиком и заказчиком

Fig. 4. Input control at the “Construction” stage during construction control by the general contractor and the customer

контроля рабочей и проектной документации со стороны генерального подрядчика и технического заказчика [7–9].

Системный анализ процесса позволил определить, что существующая организация процесса контроля порождает ряд проблем: дублирование контроля со стороны технического заказчика и генерального подрядчика, недостаточный контроль из-за дублирования функций, увеличение сроков строительства за счёт всех этих параметров [7]. Для того чтобы упростить процесс выполнения контроля за проектной и рабочей документацией, была предложена реструктуризация организационной структуры входного контроля на стадии «Проектирование» при проведении строительного контроля генеральным подрядчиком и заказчиком. Предлагаемая реорганизация предполагает передачу функций строительного контроля консалтинговой компании, которая будет обеспечивать процесс строительного контроля.

Диаграмма, отображающая процесс входного контроля консалтинговой организации на стадии «Проектирование», представлена на рисунке 3.

В процессе строительства проектная документация не должна быть изменена, так как изменения проектной документации ведут к повторному прохождению государственной экспертизы. Касательно рабочей документации, она может изменяться на протяжении всего процесса строительства, при этом необходимо, чтобы у консалтинговой компании, которая проводит строительный контроль, всегда была конечная версия документации, которую невозможно изменить.

Реструктуризация процесса строительного контроля на стадии «Строительство»

BPMN-диаграмма на этапе входного контроля материалов и оборудования на строительной площадке представлена на рисунке 4.

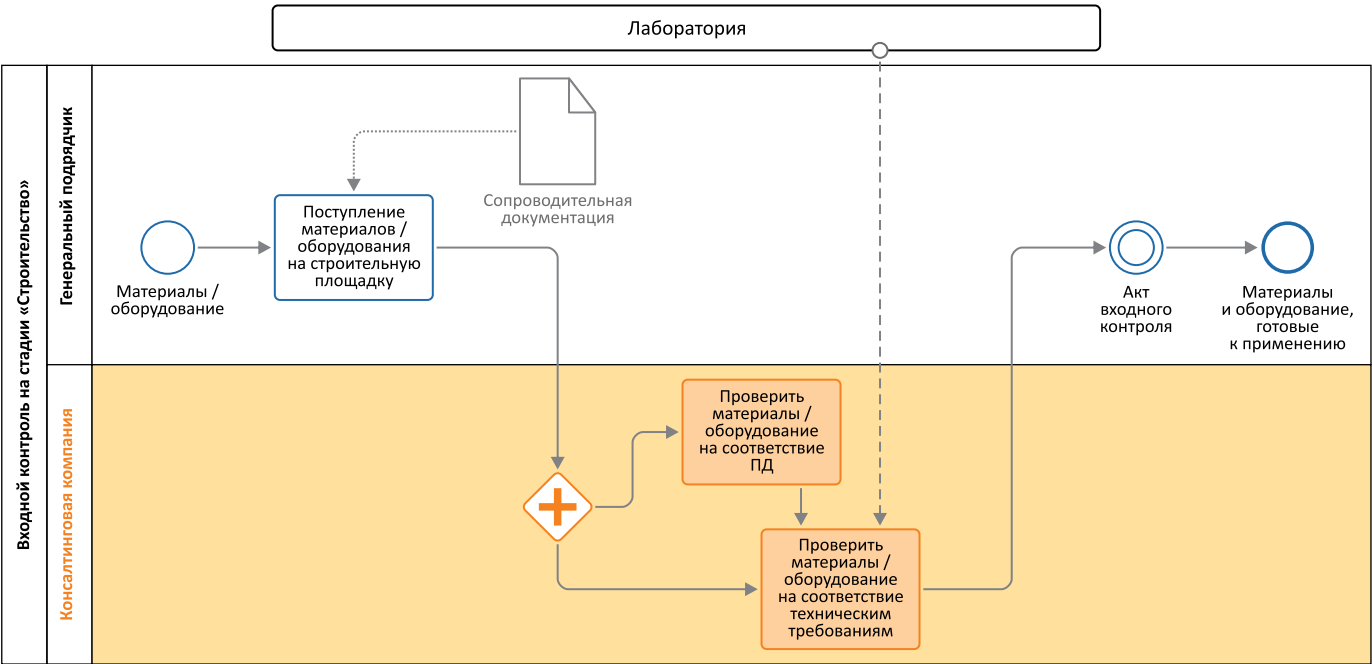


Рис. 5. Входной контроль на стадии «Строительство» при проведении строительного контроля консалтинговой компанией

Fig. 5. Input control at the stage “Construction” when carrying out construction control by a consulting company

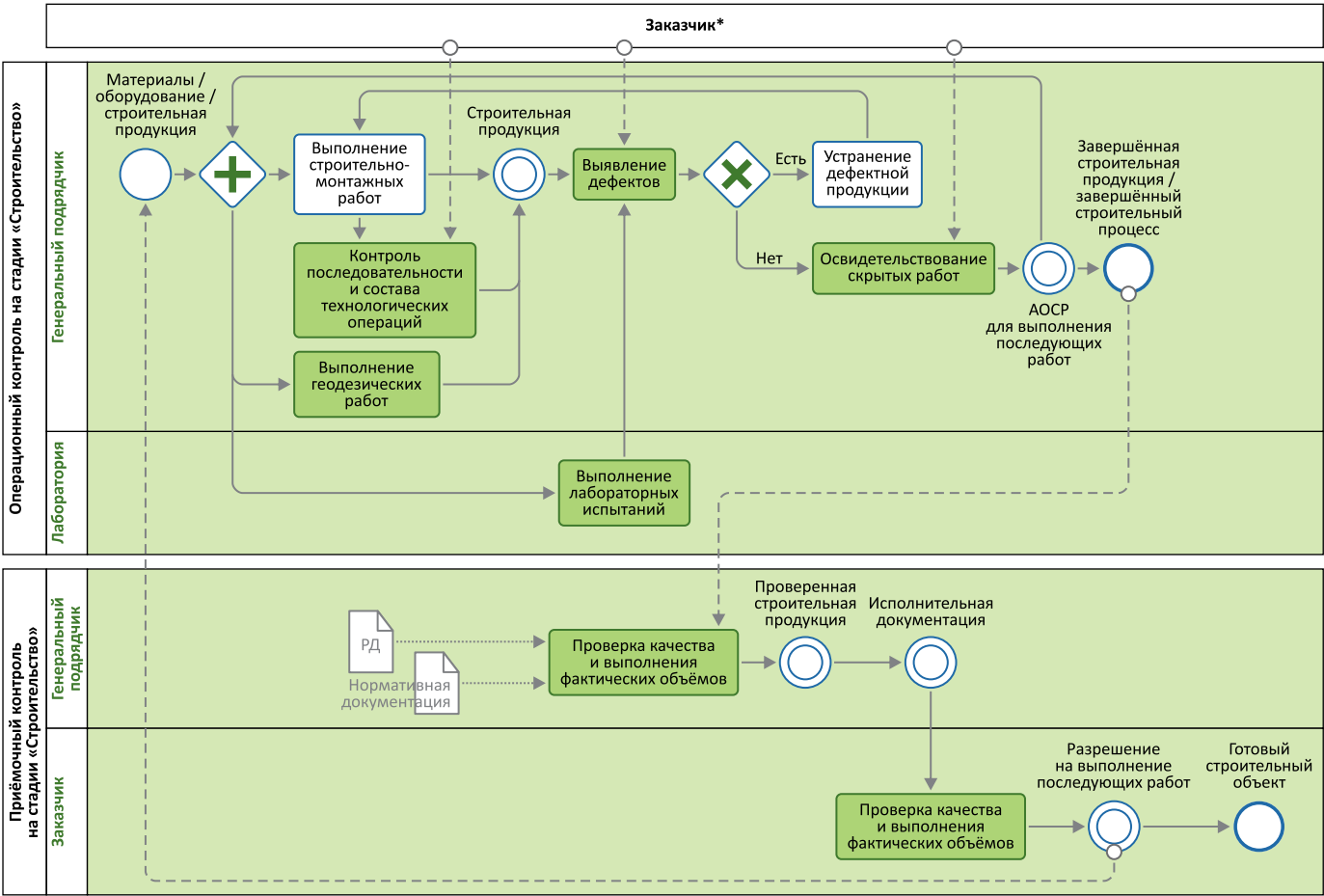


Рис. 6. Процесс операционного и приёмочного контроля на стадии «Строительство» при проведении строительного контроля генеральным подрядчиком и заказчиком

Fig. 6. Process of operational and acceptance control at the "Construction" stage when construction control is carried out by the general contractor and the customer

Результаты передачи функции строительного контроля от генерального подрядчика и технического заказчика консалтинговой компании отражены на рисунке 5.

Как можно увидеть на рисунке 5, результаты лабораторных испытаний не должны быть фальсифицированы, так как впоследствии это может привести к разрушению конструкций, в которых применяются данные материалы. Акт входного контроля должен храниться на строительной площадке в электронном виде и быть неизменным, так как он в дальнейшем будет являться документом, который будет использоваться при формировании исполнительной документации.

Следующим этапом на жизненном цикле строительного объекта является операционный и приёмочный контроль на стадии «Строительство».

Как можно заметить из рисунка 6, образуется информация, которую необходимо структурировать и обработать. Под «структуризацией» и «обработкой» данных подразумевается определение сроков выполненных работ, порядка и привязки к определённому объекту, а также хранение полученной информации.

Следующим этапом была передача функций от генерального подрядчика и технического заказчика консалтинговой компании на этапе операционного и приёмочного контроля на стадии «Строительство». На рисунке 7 можно увидеть BPMN-диаграмму на этапе операционного и приёмочного контроля.

На данном этапе необходимо внесение выявленных дефектов в общий журнал работ, который в последую-

щем не может быть изменён, а только после исправления формируется акт скрытых работ. Должна быть обеспечена сохранность данных (время, работа, ответственные за приёмку работ). Вся эта информация обеспечивает отражение полноты ситуации, происходящей на строительной площадке.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что деятельность строительного контроля на территории Российской Федерации сталкивается с несколькими ключевыми проблемами. К данным проблемам можно отнести: фальсификацию документации, отсутствие прозрачности на всех этапах жизненного цикла проекта, трудности с обеспечением эффективного контроля строительного процесса согласно актуальной рабочей и проектной документации [10].

Предлагаемые пути решения данных проблем – передача функций строительного контроля отдельной консалтинговой компании. Однако и в этом случае остаются трудности с обеспечением полной прозрачности и достоверности информации, поскольку традиционные методы не всегда могут гарантировать неизменность и точность данных.

Исходя из сформированных BPMN-диаграмм на весь жизненный цикл объекта и их анализа была сформирована таблица 1, которая отображает основные области, где могут быть применены информационные технологии [11].

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что основными проблемами, с которыми сталкивается деятельность

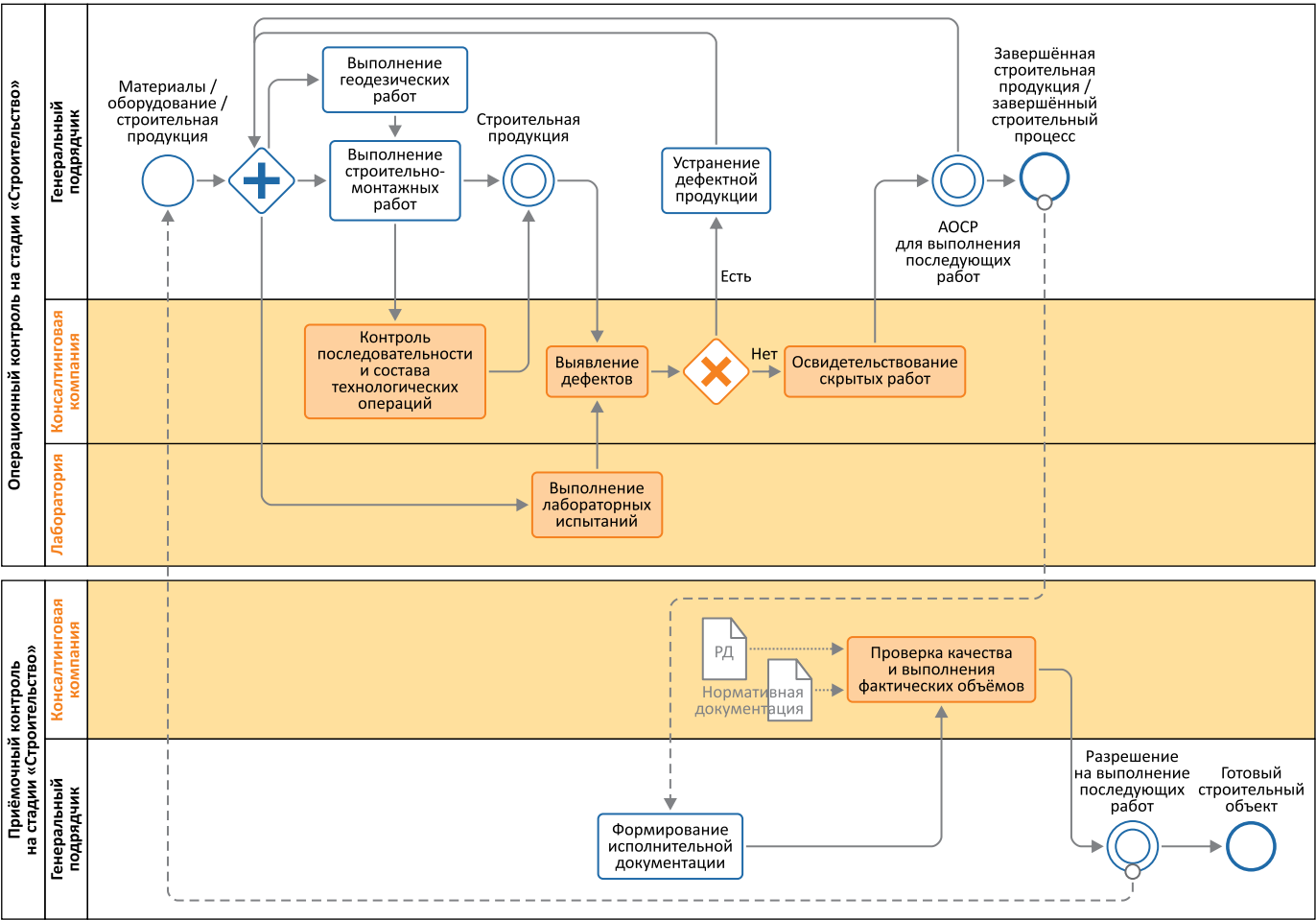


Рис. 7. Операционный и приёмочный контроль на стадии «Строительство» при проведении строительного контроля консалтинговой компанией

Fig. 7. Operational and acceptance control at the "Construction" stage when construction control is carried out by a consulting company

строительного контроля, являются: задержка передачи информации, дублирование документации, неактуальность предоставляемых данных, фальсификация документов. Одним из решений данных проблем может быть применение технологии блокчейн [12; 13], которая обеспечивает высокий уровень безопасности, прозрачности и надёжности данных, что позволяет гарантировать достоверность информации и исключить возможность фаль-

сификации документации. Данная технология будет рассмотрена в последующих исследованиях консалтинговой организации строительного контроля.

Решение данных проблем в деятельности организации позволит достичь экономического эффекта за счёт сокращения доли человеческого труда, снизить сроки проведения контроля за счёт автоматизации бизнес-процессов –

Стадии строительства	Вид контроля	Бизнес-процесс	Входная информация
Стадия «Проектирование»	Входной контроль	Входной контроль проектной документации	Проектная документация, которая не должна изменяться на протяжении всего жизненного цикла объекта строительства
		Входной контроль рабочей документации	Рабочая документация должна передаваться проектной организации. Изменения в ней должны сопровождаться изменением ревизии
Стадия «Строительство»	Входной контроль	Поступление материалов и оборудования на строительную площадку	Поставщиками передаётся генеральному подрядчику сопроводительная документация, которая содержит основные характеристики материалов и которая должна быть неизменной
		Проверка материалов и оборудования на соответствие техническим требованиям	В лаборатории проводятся испытания, по результатам которых формируется отчёт. Данный отчёт передаётся генеральному подрядчику и представителю строительного контроля, и на протяжении всего процесса строительства он не должен быть фальсифицирован
		Акт входного контроля	Акт должен быть неизменен и содержать информацию с количественными характеристиками и с результатами лабораторных испытаний
	Операционный контроль	Выявление дефектов	Запись выявленных/устранённых дефектов заносится в журнал общих работ
		Освидетельствование скрытых работ	Подписание представителем строительного контроля. Документ не должен изменяться – он является основанием для формирования исполнительной документации
	Приёмочный контроль	Проверка качества и выполнения фактических объёмов	Просмотр актуальной ревизии рабочей документации. Содержит АОСР, акт входного контроля, которые были сформированы раньше

Табл. 1. Проблемные места в деятельности строительного контроля

Tab. 1. Problems in construction control activities

и всё это приведёт к повышению качества строительного объекта.

Обсуждение

По результатам проведённого исследования были сформированы выводы, интересные для научного сообщества:

- 1. Были проанализированы источники литературы, связанные с деятельностью строительного контроля на территории Российской Федерации, и сделан вывод, что реструктуризация бизнес-процесса строительного контроля, дополненная принципами информационных технологий, является актуальной задачей для анализа и изучения.
- 2. Сформирована BPMN-диаграмма, отражающая бизнес-процессы на каждом из этапов строительного контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лapidус, А. А. Риск-ориентированный строительный контроль технического заказчика / А. А. Лapidус, А. Н. Макаров, Р. В. Волков // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 2–6.

2. Лapidус, А. А. Передача функций строительного контроля технического заказчика и подрядчика аутсорсинговой компании / А. А. Лapidус, А. Ю. Шукин // Строительное производство. – 2024. – № 1 (49). – С. 3–8.

3. Лapidус, А. А. Применение функционально ориентированных систем моделирования при осуществлении строительного контроля / А. А. Лapidус, А. Ю. Шукин // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19, № 10. – С. 1666–1675.

4. Олейник, П. П. Строительный контроль как стратегия повышения качества зданий и сооружений / П. П. Олейник, А. Д. Улитина // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 4. – С. 22–27.

5. Цопа, Н. В. Исследование теоретических и методических особенностей процедуры проведения строительного контроля / Н. В. Цопа, А. С. Карпушкин, А. К. Горин // Экономика строительства и природопользования. – 2019. – № 4 (73). – С. 91–101.

6. Вандина, О. Г. Теоретическое представление бизнес-процессов в строительстве / О. Г. Вандина // Экономические и гуманитарные науки. – 2012. – № 10. – С. 116–121.

7. Chinosi, M. BPMN: An introduction to the standard / M. Chinosi,

REFERENCES

1. Lapidus, A. A. Risk-orientirovannyj stroitel'nyj kontrol` tekhnicheskogo zakazchika [Risk-oriented construction control of the technical customer] / A. A. Lapidus, A. N. Makarov, R. V. Volkov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 2. – Pp. 2–6.

2. Lapidus, A. A. Peredacha funktsij stroitel'nogo kontrolya tekhnicheskogo zakazchika i podryadchika outsorsingovoy kompanii [Transfer of construction control functions of the technical customer and contractor to an outsourcing company] / A. A. Lapidus, A. Yu. Shhukin // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 1 (49). – Pp. 3–8.

3. Lapidus, A. A. Primenenie funktsional'no orientirovannykh sistem modelirovaniya pri osushhestvlenii stroitel'nogo kontrolya [Application of function-oriented modeling systems in construction control implementation] // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2024. – Vol. 19, No. 10. – Pp. 1666–1675.

4. Oleinik, P. P. Stroitel'nyj kontrol` kak strategiya povysheniya kachestva zdaniy i sooruzhenij [Construction control as a strategy for improving the quality of buildings and structures] /

- 3. Анализ BPMN-диаграмм позволил определить проблемные места в деятельности консалтинговой организации строительного контроля.
- 4. Сформирована таблица с основными положениями для внедрения информационных технологий в деятельность строительного контроля консалтинговой компании.

Заключение

В результате исследования описан бизнес-процесс строительного контроля отдельной консалтинговой компании с помощью BPMN-моделирования. Основой исследования являются сформированные основные положения по применению информационных технологий в разработанном бизнес-процессе строительного контроля консалтинговой компании. Одним из решений выявленных проблем является применение блокчейн-технологии, которое будет рассмотрено в следующем исследовании.

A. Trombetta // Computer Standards & Interfaces. – 2012. – Vol. 34, No. 1. – Pp. 124–134.

8. Wong, P. Y. H. Formalisations and applications of BPMN / P. Y. H. Wong, J. Gibbons // Science of Computer Programming. – 2011. – Vol. 76, No. 8. – Pp. 633–650.

9. Geambasu, C. V. BPMN vs. UML activity diagram for business process modeling / C. V. Geambasu // Journal of Accounting and Management Information Systems (JAMIS). – 2012. – Vol. 11, No. 4. – Pp. 637–651.

10. Копп, А. М. Подход к анализу и оптимизации моделей бизнес-процессов в нотации BPMN / А. М. Копп, Д. Л. Орловский // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2018. – № 2 (45). – С. 108–116.

11. Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry? / S. Perera, S. Nanayakkara, M. N. N. Rodrigo, S. Senaratne, R. Weinand // Journal of industrial information integration. – 2020. – Vol. 17. – Art. 100125.

12. Mahmudnia, D. Blockchain in construction management: Applications, advantages and limitations / D. Mahmudnia, M. Arashpour, R. Yang // Automation in construction. – 2022. – Vol. 140. – Art. 104379.

13. A model-based smart contracts system via blockchain technology to reduce delays and conflicts in construction management processes / A. Wahab, J. Wan, A. Shojaei, J. Ma // Engineering, Construction and Architectural Management. – 2023. – Vol. 30, No. 10. – Pp. 5052–5072.

P. P. Oleinik., A. D. Ulitina // Promy'shlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. – 2020. – No. 4. – Pp. 22–27.

5. Czopa, N. V. Issledovanie teoreticheskikh i metodicheskikh osobennostej protsedury provedeniya stroitel'nogo kontrolya [Study of theoretical and methodological peculiarities of construction control procedure] / N. V. Czopa, A. S. Karpushkin, A. K. Gorin // Ehkonomika stroitel'stva i prirodogopol'zovaniya [Economics of construction and environmental management]. – 2019. – No. 4 (73). – Pp. 91–101.

6. Vandina, O. G. Teoreticheskoe predstavlenie biznes-protsessov v stroitel'stve [Theoretical representation of business processes in construction] / O. G. Vandina // Ehkonomicheskie i gumanitarnye nauki. – 2012. – No. 10. – Pp. 116–121.

7. Chinosi, M. BPMN: An introduction to the standard / M. Chinosi, A. Trombetta // Computer Standards & Interfaces. – 2012. – Vol. 34, No. 1. – Pp. 124–134.

8. Wong, P. Y. H. Formalisations and applications of BPMN / P. Y. H. Wong, J. Gibbons // Science of Computer Programming. – 2011. – Vol. 76, No. 8. – Pp. 633–650.

ratne, R. Weinand // Journal of industrial information integration. – 2020. – Vol. 17. – Art. 100125.

12. Mahmudnia D. Blockchain in construction management: Applications, advantages and limitations / D. Mahmudnia, M. Arashpour, R. Yang // Automation in construction. – 2022. – Vol. 140. – Art. 104379.

13. A model-based smart contracts system via blockchain technology to reduce delays and conflicts in construction management processes / A. Wahab, J. Wan, A. Shojaei, J. Ma // Engineering, Construction and Architectural Management. – 2023. – Vol. 30, No. 10. – Pp. 5052–5072.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_99

Контроль качества работ с применением технологий на базе компьютерного зрения

Quality Control of Work Using Computer Vision-Based Technologies

Болотова Алина Сергеевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, bolotova63@mail.ru

Bolotova Alina Sergeevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, bolotova63@mail.ru

Цыпкин Александр Сергеевич

Руководитель проектного офиса ООО «ИНГРИ», Россия, 119331, Москва, внутригородская территория города Муниципальный Округ Ломоносовский, улица Крупской, 5, помещение 1/П, aleksandr.tsypkin@gmail.com

Tsyppkin Alexander Sergeevich

Head of the project office of INGRI LLC, Russia, 119331, Moscow, inner-city territory of the city Lomonosovsky Municipal District, ulitsa Krupskoy, 5, pomeshhenie 1/P, aleksandr.tsypkin@gmail.com

Частова Василина Юрьевна

Студент бакалавриата, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, chastova.vasilina@bk.ru

Chastova Vasilina Yuryevna

Student of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, chastova.vasilina@bk.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрено применение компьютерного зрения, влияние искусственного интеллекта (ИИ) и информационных технологий на эффективность управления строительством, также дана его характеристика, особенности установки и управления. Применение данных технологий позволяет автоматизировать визуальный мониторинг объекта и конструктивных элементов в режиме реального времени. В результате мы получаем информацию не только о дефектах, обнаруженных на объекте строительства, но и о динамике их изменений. Компьютерное зрение помогает найти дефекты в труднодоступных местах, что позволяет снизить влияние человеческого фактора и улучшить контроль за несоответствиями.

Для выяснения основных трудностей при установке, работе и выборе технологий компьютерного зрения был проанализирован опыт строительных компаний, которые активно применяют в своей деятельности данные разработки, за счёт чего ускоряют процесс строительства и улучшают его качество. Одной из таких компаний является Constru, у которой было рассмотрено программное обеспечение, его применение и основные функ-

ции. Также наглядно представлен интерфейс компьютерной программы. Результаты исследования получены методом экспертной оценки, в ходе которого был выполнен опрос профессионалов, применяющих компьютерное зрение в практической деятельности.

Проведение достоверного анализа позволило определить достоинства и недостатки применения технологий компьютерного зрения и влияние ИИ на строительство, предложены способы устранения неточностей. В результате исследования было выявлено, что, как и любая технология, данная разработка имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам можно отнести высокое качество, скорость разработки, освобождение трудовых кадров и безопасность человека. Недостатки в разработке связаны с недостаточной изученностью искусственного интеллекта и его возможностей. К ним относятся трудности в обработке больших данных. Применение в строительстве технологий компьютерного зрения является перспективным направлением в ближайшем будущем, но в данный момент имеет множество недоработок, в связи с чем не используется так широко, как могло бы быть, учитывая возможности искусственного

интеллекта.

Ключевые слова: компьютерное зрение, искусственный интеллект, строительный процесс, жизненный цикл объекта стро-

Abstract. This article discusses the use of computer vision, the impact of artificial intelligence (AI) and information technology on the efficiency of construction management, and also provides its characteristics, installation and management features. The use of these technologies allows automating visual monitoring of an object and structural elements in real time. As a result, we receive information not only about defects detected at the construction site, but also about the dynamics of their changes. Computer vision allows you to find defects in hard-to-reach places, which reduces the human factor and improves control over non-conformities.

To identify the main difficulties in installing, operating and selecting computer vision technologies, the experience of construction companies that actively use these developments in their activities was analyzed, thereby accelerating the construction process and improving its quality. One of such companies is Constru, whose software, its application and main functions were reviewed. The interface of the computer program is also clearly presented. The results of the study were obtained by the expert assessment method, during which a survey of professionals using

ительства, метод экспертной оценки, контроль качества, управление качеством.

computer vision in practice was conducted.

Conducting a reliable analysis allowed us to determine the advantages and disadvantages of using computer vision technologies and the impact of AI on construction, and suggested ways to eliminate inaccuracies. As a result of the study, it was revealed that, like any technology, this development has its advantages and disadvantages. The advantages include high quality, speed of development, release of labor force and human safety. Disadvantages in the development are associated with insufficient study of artificial intelligence and its capabilities. These include difficulties in processing big data. The use of computer vision technologies in construction is a promising direction in the near future, but at the moment it has many shortcomings, and therefore is not used as widely as it could be, given the capabilities of artificial intelligence.

Keywords: computer vision, artificial intelligence, construction process, life cycle of a construction object, the expert assessment method, quality control, quality management.

Введение

На первом этапе использования технологий компьютерного зрения в систему было включено примитивное распознавание контура объекта и его расположение. Однако уже в 80-е годы технологии эволюционировали в системы, которые различали двумерные символы и стали первым поколением «умных камер». На тот момент это уже был значительный шаг в развитии технологии, но пользователям необходима была гибкость, так как настройка «умных камер» имела свои сложности. Были сложности и с внедрением данной технологии.

Компьютер уже сейчас активно взаимодействует с нашим миром. Влияние человеческого фактора на различные стороны нашей жизни значительно снижается благодаря ИИ, так как компьютер не устаёт и делает чётко свою работу [1; 2].

Компьютерное зрение (Computer Vision, CV) – область искусственного интеллекта, связанная с обработкой изображений и видео. Она включает в себя набор методов, которые позволяют компьютеру «видеть» и анализировать полученную информацию: идентифицировать предметы и людей, распознавать текст, фиксировать движения, выделять однородные элементы на изображениях и видео и многое другое [3; 4].

В строительстве активно применяется компьютерное зрение, которое выполняет функцию отслеживания процесса строительства, что помогает контролировать качество строительных материалов, определять дефекты на поверхностях и выявлять несоответствия в проектной документации.

Компьютерное зрение активно применяется в строительной отрасли за рубежом, особенно в таких странах-лидерах, как Гонконг, Саудовская Аравия и Сингапур, что предполагает комплексную трансформацию, которая выходит за рамки простой автоматизации. Автоматизируя

задачи, сокращая расходы, повышая точность и создавая более безопасные условия труда, технология компьютерного зрения на основе ИИ меняет подход к строительству. По мере того как отрасль продолжает внедрять эти инновации, будущее обещает более оптимизированные, экономичные и экологичные строительные проекты, основанные на возможностях компьютерного зрения для управления строительством [5].

Материалы и методы

Для составления подробной характеристики аппаратной части систем машинного зрения, с упоминанием основных трудностей при установке и выборе компонентов, необходимо проанализировать опыт строительных компаний. Было рассмотрено применение в строительстве технологий на базе компьютерного зрения на примере использования программного обеспечения Constru.

Constru – это программное решение на основе искусственного интеллекта для строительства. Платформа отслеживает прогресс работы и оценивает фактический статус проекта по сравнению с запланированным. Система анализирует изображения на площадке, непрерывно сравнивает их, обнаруживает и предупреждает о расхождении ещё до того, как они станут дорогостоящими. Общий вид программного обеспечения с диаграммой хода работ представлен на рисунке 1.

Таблица, связанная с визуальной документацией, позволяет отслеживать процент выполнения проекта и мгновенно определять, что сделано или находится в процессе выполнения. Система автоматически генерирует подробную таблицу отслеживания выполнения, что представлено на рисунке 2. Каждая задача точно отмечена. Это позволяет получать актуальные данные о проценте её выполнения с учётом любых отклонений [6].

Сравнение фактической работы с BIM-моделью помогает выявлять отклонения в режиме реального времени,

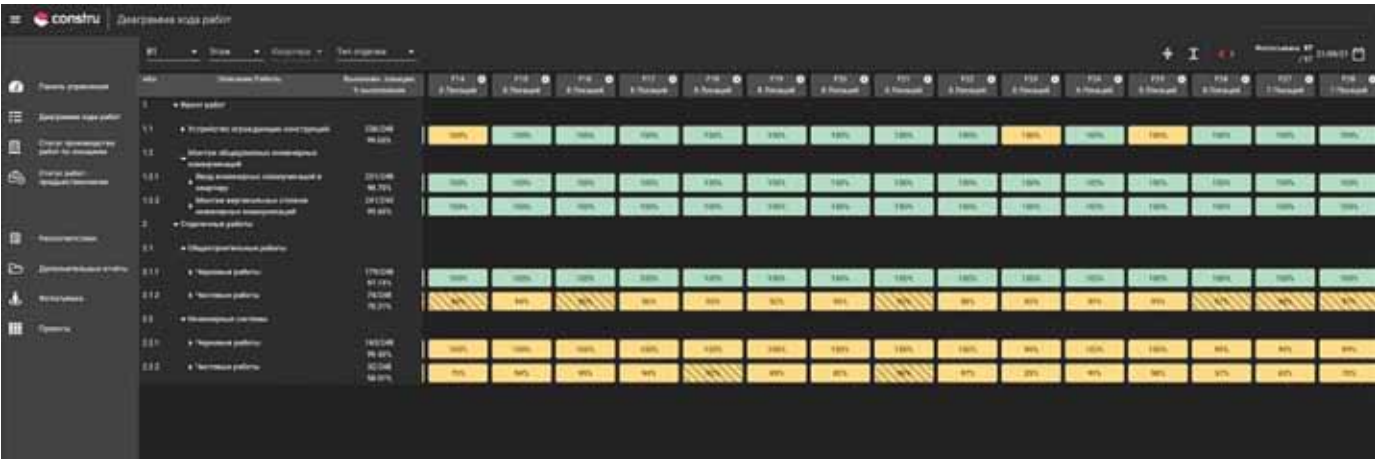


Рис. 1. Программное обеспечение Constru. Диаграмма хода работ
Fig 1. Software Constru. Progress chart

сравнивать проектирование с исполнением в любой момент и устранять потенциальные проблемы до того, как они приведут к дополнительным затратам или задержкам проекта. Как это выглядит в программе, представлено на рисунке 3 [7].

Система позволяет сравнивать текущее состояние работ с предыдущими периодами, обеспечивая «цифровой пилинг» конструкции для выявления скрытой инфраструктуры, такой как электрические кабели и водопроводные системы, что сокращает количество ошибок и экономит время при строительстве. Также система позволяет быстро найти пропущенный элемент в проекте, как представлено на рисунке 4.

Система предоставляет менеджерам актуальную визуальную информацию о проекте, включая финансовые аспекты, соблюдение сроков, состояние качества и уровень безопасности, благодаря 360-градусным снимкам объекта. Раз в неделю объект фотографируют с помощью 360-градусной камеры, и данные напрямую записываются в систему. Каждое пространство на объекте помечается благодаря системам, и каждый этап проекта автоматиче-

ски документируется в режиме реального времени. На рисунке 5 представлен проект в 3D [8; 9].

Кроме того, фактические проценты выполнения автоматически привязываются к финансовому счёту проекта, что позволяет точно отслеживать использование бюджета. На каждом этапе проценты выполнения для всех задач обновляются и пересчитываются в соответствии с данными о производительности в режиме реального времени. Это позволяет увидеть, как физический прогресс влияет на общий бюджет, гарантируя, что проект остаётся в рамках запланированных финансовых рамок. На рисунке 6 представлена 3D-визуализация проекта, что позволяет его оценить на ранних стадиях [10; 11].

Для проведения достоверного анализа используем метод экспертных оценок, который позволяет выработать коллективное мнение специалистов в своей сфере деятельности. Метод экспертных оценок заключается в определении мнений экспертов и формировании на их основе необходимой информации, её анализ проводится при помощи логических и математико-статистических методов.



Рис. 2. Программное обеспечение Constru. Статус производства работ по локациям
Fig. 2. Software Constru. Work status by location

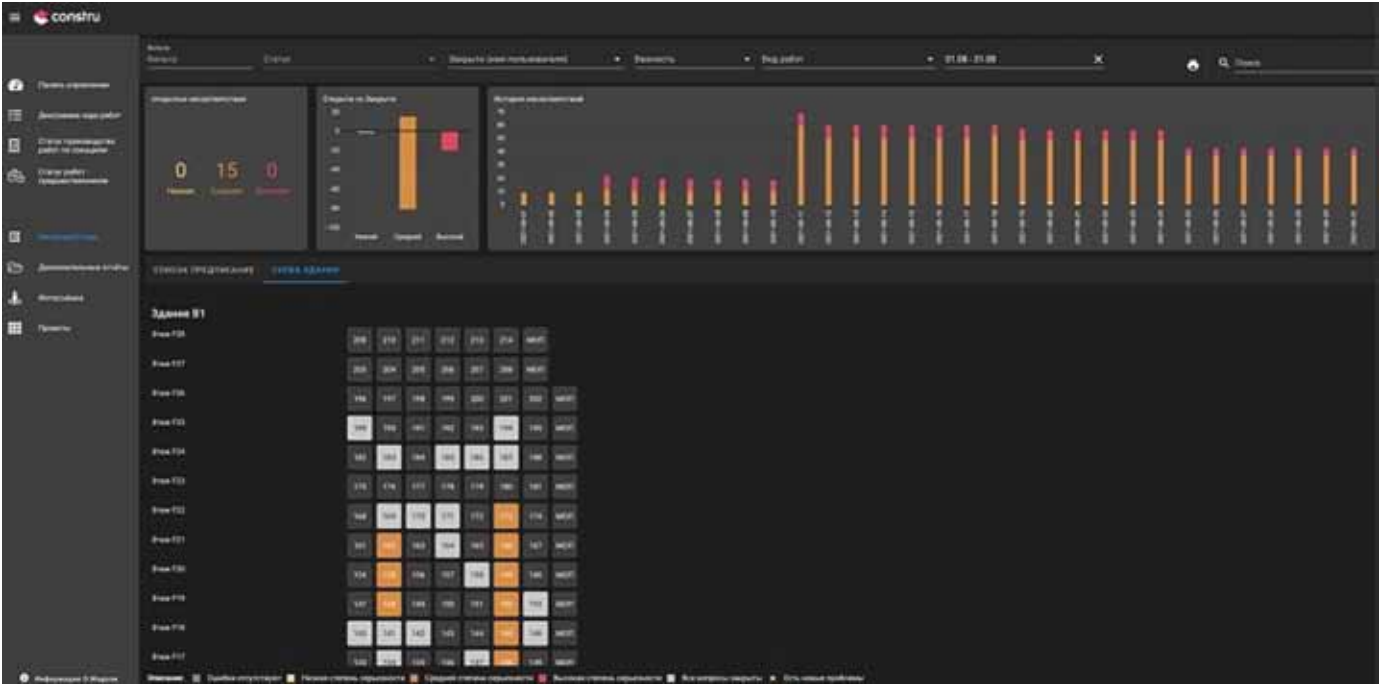


Рис. 3. Программное обеспечение Constru. Выявление несоответствий в проекте
Fig. 3. Software Constru. Identification of inconsistencies in the project

Для оценки применения технологий компьютерного зрения и установления формы оценки соответствия разработаны форма опросного листа и форма сводной таблицы. Опрос проводится среди профессионалов в сфере компьютерного зрения, что позволяет определить достоверные и полные ответы.

В научно-исследовательских работах зарубежных коллег также используется метод экспертных оценок. Авторы представляют крупномасштабный набор данных под названием «Движущиеся объекты на строительной площадке» (MOCS). Набор данных MOCS содержит 41 668 изображений, собранных с 174 строительных площадок. Целью набора данных является обучение и тестирование алгоритмов компьютерного зрения для обнаружения объектов на строительных площадках [9].

Результаты

Далеко не каждая строительная компания в своей деятельности использует технологии компьютерного зрения. Причина в том, что не все организации могут позволить себе использование новых технологий с финансовой точки зрения. Но проблема состоит не только в этом. Есть компании, которые не доверяют нововведениям и искусственному интеллекту, поэтому они не применяют компьютерное зрение. Однако такие технологии позволяют уменьшать сроки строительства и повышать качество строительства. Рассмотрим применение компьютерного зрения на примере компании Constru. В результате экспертной оценки было изучено использование технологий компьютерного зрения, перспективы развития и достоинства применения в строительстве.

Система использует технологию компьютерного зрения для автоматизированного контроля строительных проектов, что позволяет отслеживать качество и прогресс выполнения работ на объектах. Система анализирует фотоизображения 360 градусов, полученные с камер, для

распознавания строительных дефектов и соответствия выполненных задач с BIM-моделью.

Одним из примеров применения технологий компьютерного зрения за рубежом является стартап Buildots из Тель-Авива и Лондона, который использует компьютерное зрение для модернизации отрасли управления строительством. Компания использует встроенные в шлем 360-градусные камеры, которые позволяют руководителям проектов на строительных площадках получать общее представление о состоянии проекта.

В действительности сложно оценить влияние применения технологий компьютерного зрения на производительность работ. Авторами статьи проанализированы ответы экспертов, а также опыт применения ИИ в деятельности строительных компаний, в том числе в работе технического заказчика и специалистов, отвечающих за контроль качества на строительной площадке. В общем виде мы выделили следующие плюсы применения данных технологий:

1. Возможность высвобождения квалифицированных инженеров для решения более важных работ, нежели их использование для рутинного заполнения форм/отчётов о статусе работ проекта. Вместо этого используются специалисты с более низкой квалификацией, необходимой для выполнения фотографирования.
2. Оперативное определение несоответствий между BIM-моделью и фактически выполненными работами, что даёт возможность исправлять нарушения на ранних этапах и, как следствие, снижает затраты на переделку.
3. Благодаря наличию базы фотографий можно ретроспективно посмотреть, как именно были выполнены скрытые работы, при выявлении дефектов на этапе эксплуатации.

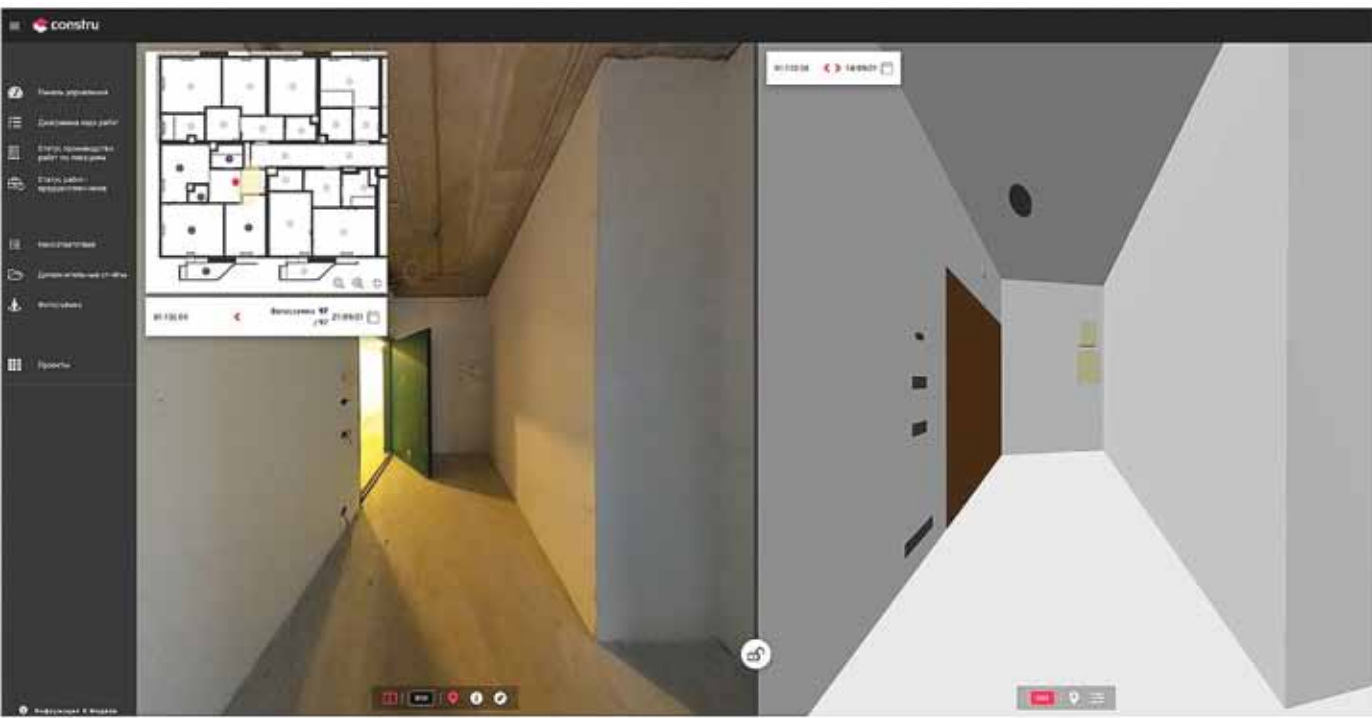


Рис. 5. Программное обеспечение Constru. 3D-визуализация
Fig. 5. Software Constru. 3D visualization

Несмотря на свои преимущества, данные методы имеют ряд ограничений. Мы выделили основные проблемы, которые не дают процессу желаемого результата или препятствуют массовому применению:

1. Субъективность: эффективность осмотра во многом зависит от мнения и опыта инспектора. Важные детали могут быть упущены из виду или неправильно оценены.

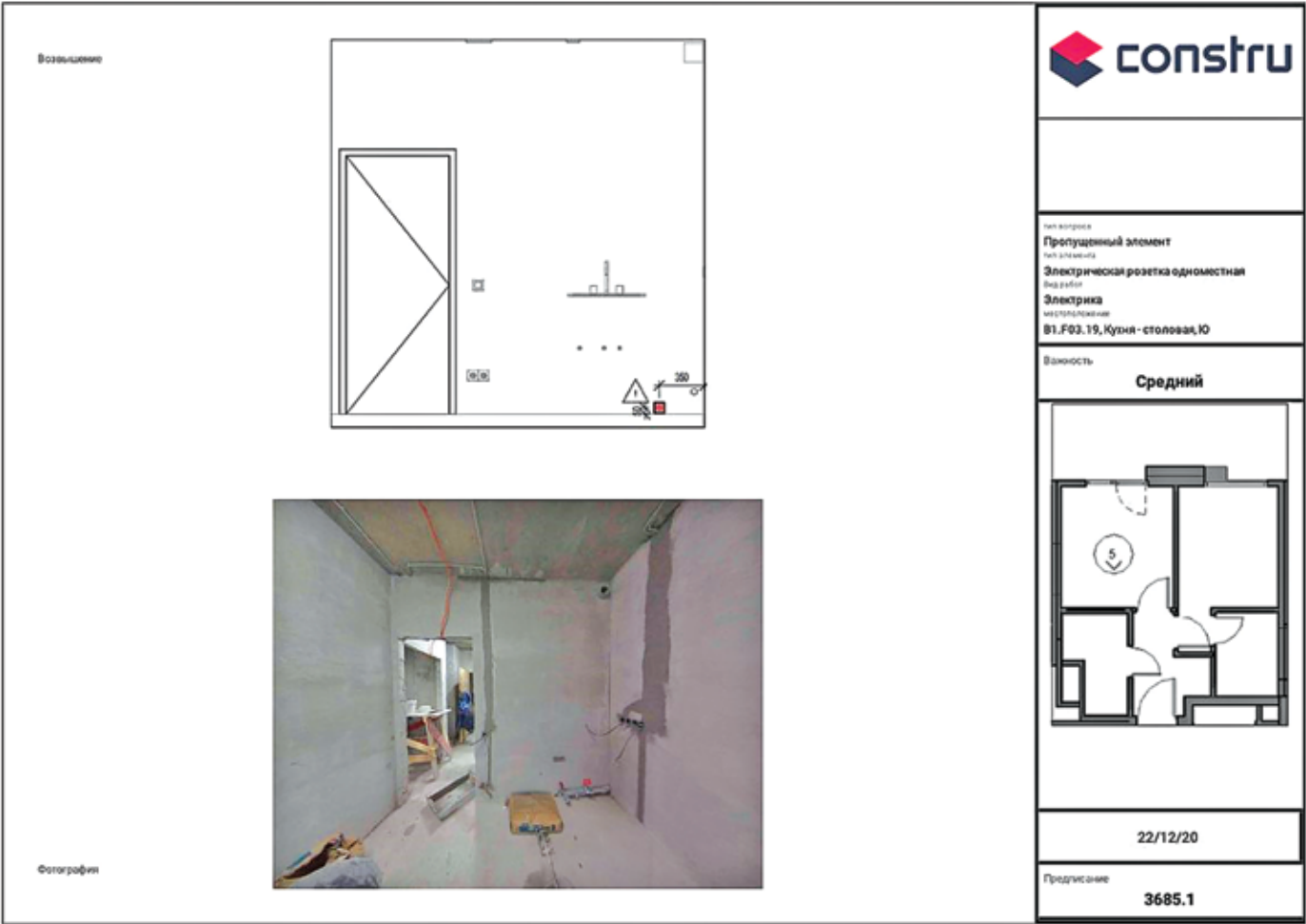


Рис. 4. Программное обеспечение Constru. Пропущенный элемент
Fig. 4. Software Constru. Missing element

ТЕХНОЛОГИИ, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ - 2024

TOMiC-2024

International Scientific Conference «Technology, Organization and Management in Construction – 2024», TOMiC-2024

20-21 ноября 2024 года в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете (НИУ МГСУ) состоялась X Международная научно-практическая конференция кафедр организационно-технологического профиля строительных вузов и технических университетов «Технологии, организация и управление в строительстве – 2024» («Technology, Organization and Management in Construction 2024», TOMiC–2024).

Цель конференции – создание международной площадки для комфортного и конструктивного обмена производственным опытом, научными разработками и инновационными идеями, которые обязательно сможем реализовать вместе.

В конференции приняли участие ведущие учёные в области технологии производства, организации, планирования, управления и менеджмента при реализации строительных проектов с учётом последних мировых достижений.

В рамках конференции работали четыре тематические секции: «Технология и организация строительства», «Управление жизненным циклом объектов строительства», «Организационно-технологические аспекты обследования зданий и сооружений» и «Инновационные строительные материалы», на которых были заслушаны более 80 докладов:

- прогрессивные технологии строительного производства,
- организация и планирование в строительстве,
- организационно-технологическое проектирование,
- менеджмент в строительстве,
- информационное моделирование, управление жизненным циклом зданий и сооружений,
- математические методы в решении задач организационно-технологического профиля,
- моделирование строительных процессов,
- автоматизация в строительстве, САПР,
- экономика строительства,
- безопасность строительного производства,
- экологические аспекты строительных технологий,
- строительный контроль и надзор,
- техническое обследование и экспертиза.

Все доклады касались актуальных проблем современного развития строительной отрасли и были направлены на повышение эффективности организационно-технологического проектирования и контроля качества строительного производства.

Периодичность конференции: ежегодная.

Язык конференции: русский, английский.

Материалы X Международной научно-практической конференции
«Технологии, организация и управление в строительстве – 2024» TOMiC-2024

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_107

Факторы, влияющие на процесс реализации проекта капитального ремонта социальных объектов

Factors Affecting the Process of Implementation of the Social Facilities Capital Repair Project

Хубаев Алан Олегович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства», ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра «Конструкции, технологии и организация строительства», старший научный сотрудник Молодёжной лаборатории «Организационно-технические системы использования искусственного интеллекта в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, alan_khubaev@mail.ru

Khubaev Alan Olegovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, Leading Researcher of the Scientific and Educational Center "Structures, Technologies and Organization of Construction", Senior Researcher of the Youth Laboratory "Organizational and Technical Systems of Artificial Intelligence in Construction", National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, alan_khubaev@mail.ru

Езаов Алим Олегович

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, A.ezaov@grosse-e.ru

Ezaov Alim Olegovich

Postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, A.ezaov@grosse-e.ru

Боровкова Анастасия Евгеньевна

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», инженер-исследователь Молодёжной лаборатории «Организационно-технические системы использования искусственного интеллекта в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, anastasik24@mail.ru

Borovkova Anastasia Evgenievna

Postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, Research Engineer of the Youth Laboratory "Organizational and Technical Systems of Artificial Intelligence in Construction", National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, anastasik24@mail.ru

Чеченов Тенгиз Ильясович

Магистрант кафедры «Менеджмент и инновации», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, tengiz.chechenov@gmail.com

Chechenov Tengiz Ilyasovich

Master's student of the Department of Management and Innovation, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, tengiz.chechenov@gmail.com

Аннотация. В последние годы накопился значительный износ социальной инфраструктуры, особенно в регионах, что повысило необходимость капитального ремонта таких объектов, как школы, больницы, культурные и спортивные учреждения.

Цель исследования состояла в анализе основных факторов, влияющих на процесс капитального ремонта социальных объектов, и выявлении ключевых аспектов для успешной реализации проектов. Были использованы методы анализа проектной документации, нормативно-правовой базы и внешних факторов, таких как экономическая ситуация и климатические условия.

Основные факторы были разделены на несколько категорий: финансовые, технические и проектные, организационные, юридические и административные, экологические и климатические, социальные и политические, а также риски и форс-мажоры. Для определения весомости каждого фактора применялся экспертный метод. Эксперты ранжировали факторы по значимости, что позволило вычислить коэффициенты весомости и определить наиболее влиятельные из них.

Результаты показали, что наиболее значимыми являются финансовые факторы, организационные аспекты и юридические и административные вопросы. Высокий коэффициент

Материалы X Международной научно-практической конференции
«Технологии, организация и управление в строительстве – 2024» TOMiC-2024

конкордации ($W = 0.98$) подтвердил согласованность мнений экспертов.

В заключение, успешная реализация проектов капитального ремонта социальных объектов требует комплексного подхода, учитывающего ключевые факторы. Адекватное финансирование, эффективная организация проектов, соблюдение юридических норм и привлечение квалифицированных специалистов позволяют оптимизировать процесс ремонта, обеспечить высокое качество работ и своевременное завершение проектов. Это

Abstract. In recent years, significant wear and tear of social infrastructure has accumulated, especially in the regions, which has increased the need for capital repairs of such facilities as schools, hospitals, cultural and sports institutions.

The purpose of the study was to analyze the main factors affecting the process of capital repairs of social facilities and identify key aspects for successful project implementation. Methods were used to analyze project documentation, the regulatory framework and external factors such as the economic situation and climatic conditions.

The main factors were divided into several categories: financial, technical and design, organizational, legal and administrative, environmental and climatic, social and political, and risks and force majeure. The expert method was used to determine the weight of each factor. The experts ranked the factors by importance, which made it possible to calculate weighting coefficients and determine the most influential ones.

Введение

Увеличение в последние годы числа зданий, подлежащих капитальному ремонту, связано с износом значительной части социальной инфраструктуры, особенно в регионах. В условиях модернизации экономики и растущих требований к качеству жизни населения необходимость капитального ремонта социальных объектов становится всё более острой. В 2023–2024 годах федеральные и региональные программы капитального ремонта получили значительное финансирование в рамках государственных инициатив, направленных на улучшение социально-экономической среды и повышение уровня комфорта для граждан [1–7].

Капитальный ремонт социальных объектов является неотъемлемой частью развития инфраструктуры городов и регионов. Капитальный ремонт направлен на улучшение зданий, обеспечивающих важную социальную жизнь населения, таких как школы, больницы, культурные и спортивные центры, а также другие объекты социальной значимости.

Успешная реализация ремонтных работ требует комплексного подхода и учёта различных факторов, влияющих на процесс. Важнейшими аспектами являются обеспечение достаточного финансирования, соблюдение сроков реализации проектов, а также использование современных технологий и экологически безопасных материалов. Кроме того, одним из ключевых факторов является квалифицированный кадровый состав, участвующий в проектировании и реализации капитальных ремонтов. В последние годы также усилилось внимание к вопросам энергоэффективности зданий и их адаптации к современным стандартам устойчивого развития [8–10].

способствует созданию комфортной и безопасной среды для населения, повышая общий уровень жизни в регионах.

Ключевые слова: капитальный ремонт; социальные объекты; факторы, влияющие на процесс реализации; финансовые факторы; технические и проектные факторы; организационные факторы; юридические и административные факторы; экологические и климатические факторы; социальные и политические факторы; риски и форс-мажоры.

The results showed that financial factors, organizational aspects and legal and administrative issues were the most significant. The high coefficient of concordance ($W = 0.98$) confirmed the consistency of experts' opinions.

In conclusion, successful implementation of capital repair projects for social facilities requires a comprehensive approach that takes into account key factors. Adequate financing, efficient project organization, compliance with legal norms and involvement of qualified specialists allow to optimize the repair process, ensure high quality of work and timely completion of projects. This contributes to creating a comfortable and safe environment for the population, increasing the overall.

Keywords: capital repairs, social facilities, factors affecting the implementation process, financial factors, technical and design factors, organizational factors, legal and administrative factors, environmental and climatic factors, social and political factors, risks and force majeure.

Целью исследования является анализ основных факторов, влияющих на процесс капитального ремонта социальных объектов, и выявление ключевых аспектов, которые необходимо учитывать для успешной реализации проектов. В числе таких факторов можно выделить необходимость тщательного планирования, мониторинга исполнения работ, взаимодействия с местными властями и общественностью, а также соблюдение действующих норм и стандартов [10–13].

Материалы и методы

Любые процессы, в том числе касающиеся строительной сферы, – это череда взаимосвязанных действий и мероприятий, направленных на достижение поставленной задачи: возведение или снос объекта, его эксплуатации и т. п. На все эти процессы оказывают влияние различные факторы, касающиеся специфики конкретного объекта и действий, которые совершаются. Не исключением является и процесс капитального ремонта зданий и сооружений, жилых и социальных объектов [13].

Для анализа факторов, влияющих на процесс капитального ремонта социальных объектов, были выполнены:

- **Анализ проектной документации** – изучение проектных решений, документации и планов капитального ремонта с целью определения технических и проектных факторов, влияющих на ход работ.
- **Анализ нормативно-правовой базы** – изучение законодательства и регулятивных норм, которые могут влиять на процесс капитального ремонта, таких как строительные нормы и правила, экологические требования и процедуры согласования.
- **Изучение внешних факторов** – оценка влияния внешних факторов, таких как экономическая ситу-

Материалы X Международной научно-практической конференции
«Технологии, организация и управление в строительстве – 2024» TOMiC-2024

Факторы	Этапы	Описание
Финансовые факторы	Бюджетирование и финансирование	Одним из ключевых факторов является выделение и распределение финансовых средств. Недостаток финансирования или его неравномерное поступление может существенно замедлить процесс реализации проекта.
	Изменение стоимости материалов и услуг	Колебания цен на строительные материалы и услуги подрядчиков могут повлиять на бюджет проекта, что может привести к необходимости его пересмотра или изменения технических решений.
	Инфляция и экономическая нестабильность	Экономические условия в стране также могут оказывать влияние на стоимость проекта, особенно если ремонт длительный.
Технические и проектные факторы	Качество проектной документации	Точность и полнота проектной документации определяют, насколько чётко и последовательно будет реализован проект. Ошибки в проекте могут привести к задержкам и перерасходу средств.
	Сложность объекта	Техническое состояние объекта на момент начала ремонта может сильно варьироваться. Чем старше объект, тем больше может быть скрытых дефектов, влияющих на сроки и стоимость работ.
	Технологические решения	Выбор современных материалов и технологий может ускорить процесс ремонта, но в то же время требует высокой квалификации персонала и дополнительного обучения.
Организационные факторы	Координация участников	В проекте капитального ремонта социальных объектов участвуют разные стороны: заказчики, подрядчики, проектировщики, надзорные органы и другие заинтересованные лица. Хорошая координация между ними снижает риски задержек и конфликтов.
	Квалификация подрядчиков	Качество работ напрямую зависит от квалификации подрядной организации. Низкий уровень профессионализма может привести к нарушениям сроков, переработкам и снижению качества выполненных работ.
	Планирование и контроль сроков	Чёткий график выполнения работ и его соблюдение являются критическими для успешного завершения проекта в срок. Несоблюдение сроков может привести к финансовым штрафам и дополнительным расходам.
Юридические и административные факторы	Согласования и разрешения	Процесс капитального ремонта может требовать большого количества согласований с различными государственными и муниципальными органами, что может затянуть сроки начала и продолжения работ.
	Изменения в законодательстве	Изменения в строительных нормах, правилах охраны труда, экологических требованиях и других регулятивных аспектах могут потребовать корректировки проекта или дополнительных расходов.
	Общественные слушания и протесты	В некоторых случаях общественные организации или местные жители могут выступать против определённых аспектов ремонта, что может замедлить процесс.
Экологические и климатические факторы	Климатические условия	В зависимости от региона, погодные условия могут существенно влиять на сроки выполнения наружных работ (например, кровельные работы или работы с фасадами). Длительные периоды неблагоприятной погоды могут привести к задержкам.
	Экологические требования	Если объект капитального ремонта находится в зоне природоохранных территорий или близко к важным экологическим объектам, это может потребовать дополнительных мер по охране окружающей среды и увеличения затрат.
Социальные и политические факторы	Политическая поддержка	Важным фактором является уровень политической поддержки проекта, особенно если речь идёт о социально значимых объектах. Приоритетное внимание властей может ускорить процесс выделения средств и получение разрешений.
	Социальная значимость объекта	Чем более важным является объект для местного сообщества (например, школа или больница), тем большее внимание будет уделяться его ремонту, что может ускорить процессы согласования и финансирования.
Риски и форс-мажоры	Непредвиденные обстоятельства	Капитальный ремонт может столкнуться с различными форс-мажорными обстоятельствами, такими как стихийные бедствия, аварии, эпидемии и другие непредвиденные события, которые могут существенно изменить сроки и стоимость проекта.
	Риски, связанные с состоянием объекта	В процессе ремонта могут быть обнаружены скрытые повреждения

Табл. 1. Составляющие факторов проекта
Tab. 1. Constituent factors of the project

ация, климатические условия и социально-политическая поддержка, на сроки и качество реализации проектов.

Процесс реализации проекта капитального ремонта социальных объектов (школ, больниц, детских садов, культурных и спортивных учреждений и т. д.) является сложной многоэтапной задачей, на которую влияет множество факторов. Любое событие – это сумма факторов, а любой фактор состоит множества этапов и подэтапов. С целью их систематизации и последующей оптимизации принимаемых на каждом этапе и подэтапе решений, основные факторы предложено разделить на несколько ключевых этапов, представленных в таблице 1.

Для выбора факторов, влияющих на процесс реализации проекта капитального ремонта социальных объектов, и определения их весомости применялся экспертный метод.

Результаты

Кодирование факторов, влияющих на процесс реализации проекта капитального ремонта социальных объектов, представлено в таблице 2.

На первом этапе проводится опрос экспертов, число которых должно быть не меньше 6, составляется анкета опроса. В качестве экспертов были выбраны специалисты из ведущих организаций, чья деятельность связана с проведением капитального ремонта социальных объектов.

№	Факторы, влияющие на производительность труда	Код фактора
1	Финансовые факторы	X_1
2	Экологические и климатические факторы	X_2
3	Организационные факторы	X_3
4	Юридические и административные факторы	X_4
5	Технические и проектные факторы	X_5
6	Социальные и политические факторы	X_6
7	Риски и форс-мажоры	X_7

Табл. 2. Кодирование факторов, влияющих на производительность труда
Tab. 2. Coding of factors affecting labor productivity

Эксперт	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	$\sum R_{ji}$	t_j
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	8	3	4	6	7	5	36	0,5
2	2	8	3	3	7	6	5	36	0,5
3	2	8	3	4	7	5	6	36	0
4	1	8	3	4	6	6	5	36	0,5
5	1	7	3	4	7	6	5	36	0,5
6	2	8	3	4	6	7	5	36	0
S_i	9	47	18	23	40	37	31	421	2
$S_i - \bar{S}$	-17	20,5	-8,5	-3,5	13	10,5	4	-	
$(S_i - \bar{S})^2$	300	420	75	12,3	150	110	16	1340	
$m \cdot n - S_i$	39	0,3	29,5	25,5	9	12,3	15	188	
J_i	0,259	0,002	0,194	0,164	0,057	0,060	0,100	1	

Табл. 3. Матрица рангов для факторов, влияющих на производительность труда при проведении капитального ремонта
Tab. 3. Ranking matrix for factors affecting labor productivity during major repairs

Экспертам предлагается дать ранговую оценку по заранее определённым факторам, представленным в таблице 2.

В анкете наиболее значимый показатель обозначается $R = 1$, наименее значимый $-R = 7$. Экспертами проводится ранжирование – размещение факторов по рангу (категории значимости), определённой экспертом. Вклад каждого фактора оценивается по величине ранга с учётом их предполагаемого влияния на производительность труда при проведении капитального ремонта.

Сумма рангов у каждого эксперта по горизонтали должна быть постоянной:

$$\sum R_{ji} = 0,5n(n+1) = 28, \quad (1)$$

где n – число факторов.

Полученные по всем анкетам ранги заносят в сводную таблицу – матрицу рангов (таблица 3).

На втором этапе проводится обработка экспертных оценок с определением их согласованности и значимости.

Согласованность мнений экспертов определяется с помощью коэффициента конкордации W :

$$W = \frac{\sum (S_i - \bar{S})^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{i=0}^n T_j} = 0,97, \quad (2)$$

где S – сумма квадратов отклонений; T_j – показатель однородности; m – число опрашиваемых; n – число факторов.

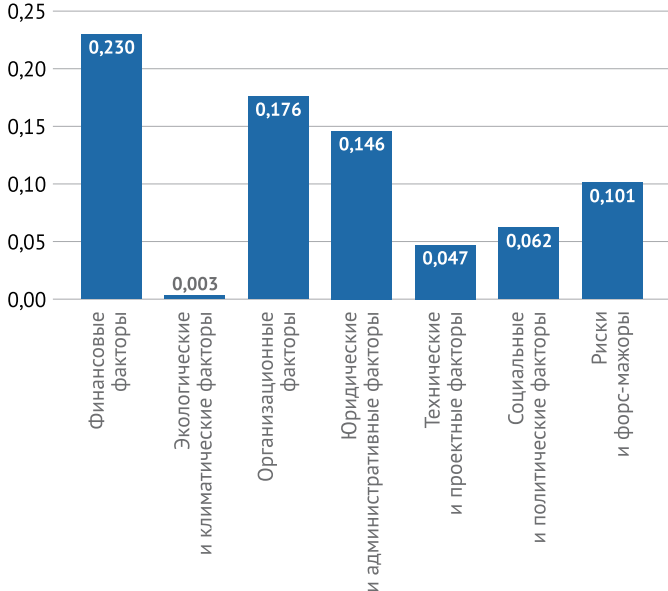


Рис. 1. Диаграмма распределения коэффициентов весомости для факторов, влияющих на процесс реализации проекта капитального ремонта социальных объектов
Fig. 1. Diagram of distribution of weighting coefficients for factors influencing the process of realization of the project of capital repair of social facilities

Таким образом, коэффициент конкордации равен $W = 0,98$, близок к 1, следовательно, оценки экспертов имеют высокую согласованность.

Значимость коэффициента конкордации W определяется с помощью χ^2 -распределения (распределения Пирсона) с числом степеней свободы $f = k - 1$:

$$\chi_R^2 = W * m(n - 1) = 39,8. \quad (3)$$

Так как $\chi_R^2 = 39,8 > \chi_T^2 = 14,1$, следовательно, коэффициент конкордации W значим.

Коэффициент весомости каждого показателя определяют по формуле:

$$j_i = \frac{m * n - S_i}{0,5mn(n - 1)}. \quad (4)$$

На рисунке 1 представлена диаграмма распределения коэффициентов весомости для факторов, влияющих на производительность труда при капитальном ремонте.

Заключение

Исследование факторов, влияющих на процесс реализации проекта капитального ремонта социальных объектов, выявило, что процесс капитального ремонта социальных объектов зависит от множества взаимосвязанных факторов. Финансирование, организация проекта, юридические и административные факторы являются ключевыми аспектами, влияющими на успешную реализацию. Исключительно комплексный подход команды грамотных специалистов, учитывающий эти факторы, позволяет оптимизировать процесс ремонта, обеспечить качество работ и своевременное завершение проекта, что в конечном итоге создаёт комфортную и безопасную среду для посетителей социальных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фатуллаев, Р. С. Оценка факторов, влияющих на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта в домах с разной формой собственности / Р. С. Фатуллаев, С. Р. Айдаров // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 12 (102). – С. 119–122.
2. Лapidus, А. А. Факторы, влияющие на параметры капитального ремонта / А. А. Лapidus, И. Ф. Тельпиз. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-4-189-192 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 4. – С. 189–192.
3. Хубаев, А. О. Анализ и сбор данных для проведения капитального ремонта в России / А. О. Хубаев, Б. Р. Долов. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-625-626 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 625–628.
4. Технология возведения зданий и сооружений / В. И. Теличенко, А. А. Лapidus, О. М. Терентьев, В. В. Соколовский. – Москва : Высшая школа, 2002. – 320 с.
5. Ловчева, М. В. Формирование нормативных требований к количеству и квалификации профильных кадров в гражданском строительстве / М. В. Ловчева. – DOI 10.12737/article_5d7b91b0bcaf02.72404088 // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2019. – Т. 8, № 4. – С. 43–49.
6. Fatullaev, R. S. The impact of apartment building quality on the selection of organizational and technological solutions during major renovations // Exploring the relationship between consumer satisfaction and repair strategies in the field of science and business.
7. Khubaev, A. Analysis of physical and mechanical properties of vacuum treated claydite-concrete / A. Khubaev, T. Bidov, A. Rybakova. – DOI 10.1051/mateconf/201819604071 // MATEC Web of Conferences : 27th Russian-Polish-Slovak Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018, Rostov-on-Don, 17–21 сентября 2018 года. – 2018. – Vol. 196. – Art. 04071.
8. Lapidus, A. Development Software for the Non-Destructive Control of Monolithic Structures in Housing Construction / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov. – DOI 10.1051/e3sconf/202125809003 // E3S Web of Conferences : Ural

REFERENCES

1. Fatullaev, R. S. Otsenka faktorov, vliyayushhikh na ehffektivnost' organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri provedenii kapital'nogo remonta v domakh s raznoj formoj sobstvennosti [Evaluation of factors affecting the efficiency of organizational and technological solutions during major repairs in buildings with different forms of ownership] / R. S. Fatullaev, S. R. Aidarov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and Business: Development Paths]. – 2019. – No. 12 (102). – Pp. 119–122.
2. Lapidus, A. A. Faktory, vliyayushhie na parametry kapital'nogo remonta [Factors influencing the parameters of major repairs] / A. A. Lapidus, I. F. Telpiz. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-4-189-192 // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical Sciences]. – 2023. – No. 4. – Pp. 189–192.
3. Khubaev, A. O. Analiz i sbor dannykh dlya provedeniya kapital'nogo remonta v Rossii [Analysis and data collection for conducting major repairs in Russia] / A. O. Khubaev, B. R. Dolov. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-625-626 // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical

Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region", UESF 2021, Chelyabinsk, 17–19 февраля 2021 года. – 2021. – Vol. 258. – Art. 09003.
9. Lapidus, A. Regression Analysis of the Calculation of the Organizational and Technological Potential for the Production of Cold Weather Concreting / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov. – DOI 10.1088/1757-899X/869/7/072033 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: "Construction - The Formation of Living Environment", FORM 2020, 5 Giai Phong Road, Hanoi, 23–26 сентября 2020 года. – 2020. – Vol. 869, Iss. 7. – Art. 072033.
10. Modern Russian High-Tech Construction Materials and Their Application in Domestic Construction Industry (On Example of Metal-Ceramic Panels Hardwall) / A. Khubaev, T. Bidov, A. Bzhienikov, V. Nesterova. – DOI 10.1088/1757-899X/365/3/032005 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 21st International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2018, Moscow, 25–27 апреля 2018 года. – 2018. – Vol. 365, 3. – Art. 032005.
11. Фатуллаев, Р. С. Использование современных строительных материалов как фактор, влияющий на эффективность организационно-технологических решений при проведении капитального ремонта / Р. С. Фатуллаев, Т. Э. Хаев // Перспективы науки. – 2019. – № 5 (116). – С. 224–228.
12. Анализ стоимости выполненных работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирных жилых домах в субъектах Российской Федерации / А. А. Лapidus, Р. С. Фатуллаев, Т. Х. Бидов, Д. М. Николенко. – DOI 10.54950/265853402023 // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 3–7.
13. Lapidus, A. Organizational and technological solutions justifying use of non-destructive methods of control when building monolithic constructions of civil buildings and structures / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov. – DOI 10.1051/mateconf/201825105014 // MATEC Web of Conferences : 6th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2018, Moscow, 14–16 ноября 2018 года. – 2018. – Vol. 251. – Art. 05014.

Sciences]. – 2023. – No. 7. – Pp. 625–628.

4. Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij [Building Construction Technology] / V. I. Telichenko, A. A. Lapidus, O. M. Terentyev, V. V. Sokolovsky. – Moscow : Vysshaya Shkola [Higher School], 2002. – 320 p.
5. Lovcheva, M. V. Formirovanie normativnykh trebovanij k kolichestvu i kvalifikatsii profil'nykh kadrov v grazhdanskom stroitel'stve [Formation of regulatory requirements for the number and qualifications of professional staff in civil engineering] / M. V. Lovcheva. – DOI 10.12737/article_5d7b91b0bcaf02.72404088 // Upravlenie personalom i intellektual'nymi resursami v Rossii [Human resources and Intellectual Resources management in Russia]. – 2019. – Vol. 8, No. 4. – Pp. 43–49.
6. Fatullaev The impact of apartment building quality on the selection of organizational and technological solutions during major renovations // Exploring the relationship between consumer satisfaction and repair strategies in the field of science and business.
7. Khubaev, A. Analysis of physical and mechanical properties of vacuum treated claydite-concrete / A. Khubaev, T. Bidov, A. Rybakova. – DOI 10.1051/mateconf/201819604071 // MATEC

- Web of Conferences : 27th Russian-Polish-Slovak Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018, Rostov-on-Don, September 17-21, 2018. – 2018. – Vol. 196. – Art. 04071.
8. Lapidus, A. Development Software for the Non-Destructive Control of Monolithic Structures in Housing Construction / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov. – DOI 10.1051/e3s-conf/202125809003 // E3S Web of Conferences : Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region", UESF 2021, Chelyabinsk, February 17-19, 2021. – 2021. – Vol. 258. – Art. 09003.
 9. Lapidus, A. Regression Analysis of the Calculation of the Organizational and Technological Potential for the Production of Cold Weather Concreting / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov. – DOI 10.1088/1757-899X/869/7/072033 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: "Construction - The Formation of Living Environment", FORM 2020, 5 Giai Phong Road, Hanoi, September 23-26, 2020. – 2020. – Vol. 869, Iss. 7. – Art. 072033.
 10. Modern Russian High-Tech Construction Materials and Their Application in Domestic Construction Industry (On Example of Metal-Ceramic Panels Hardwall) / A. Khubaev, T. Bidov, A. Bzhienikov, V. Nesterova. – DOI 10.1088/1757-899X/365/3/032005 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 21st International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2018, Moscow, April 25-27, 2018. – 2018. – Vol. 365, 3. – Art. 032005.
 11. Fatullaev, R. S. Ispol'zovanie sovremennykh stroitel'nykh materialov kak faktor, vliyayushhiy na ehffektivnost' organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri provedenii kapital'nogo remonta [The use of modern construction materials as a factor influencing the effectiveness of organizational and technological solutions during major repairs] / R. S. Fatullaev, T. E. Khaev // Perspektivy nauki [Perspectives of Science]. – 2019. – No. 5 (116). – Pp. 224–228.
 12. Analiz stoimosti vypolnennykh rabot po kapital'nomu remontu obshhego imushchestva v mnogokvartirnykh zhilykh domakh v sub'ektakh Rossijskoj Federatsii [Analysis of the cost of work performed on major repairs of common property in multi-apartment residential buildings in the constituent entities of the Russian Federation] / A. A. Lapidus, R. S. Fatullaev, T. Kh. Bidov, D. M. Nikolenko. – DOI 10.54950/26585340202323 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – No. 2. – Pp. 3–7.
 13. Lapidus, A. Organizational and technological solutions justifying use of non-destructive methods of control when building monolithic constructions of civil buildings and structures / A. Lapidus, A. Khubaev, T. Bidov. – DOI 10.1051/mateconf/201825105014 // MATEC Web of Conferences : 6th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPISE 2018, Moscow, 14–16 ноября 2018 года. – 2018. – Vol. 251. – Art. 05014.

УДК 666.97.033.14

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_112

Технология устройства футеровок газоходов средствами торкретирования на промышленных объектах Урала

Technology of Gas Duct Lining by Means of Shotcrete at Industrial Facilities in the Urals

Пермяков Михаил Борисович

Доктор Ph.D., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова» (МГТУ им. Г. И. Носова), Россия, 455000, Магнитогорск, проспект Ленина, 38, permyakov.1965@mail.ru

Permyakov Mikhail Borisovich

Doctor of Ph.D., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University (MSTU named after G. I. Nosov), Russia, 455000, Magnitogorsk, prospekt Lenina, 38, permyakov.1965@mail.ru

Пашков Евгений Иванович

Директор, ООО «ЖДС-Инжиниринг», Россия, 455019, г. Магнитогорск, улица Кирова, 102, paschkovei@gmail.com

Pashkov Evgeny Ivanovich

Director, GDS-Engineering LLC, Russia, 455019, Magnitogorsk, ulitsa Kirova, 102, paschkovei@gmail.com

Аннотация. Статья представляет результаты исследований в области технологий устройства футеровок газоходов при помощи торкретирования на промышленных объектах. В исследовании для проведения механических испытаний авторами использовалась возможность осуществления ремонта газоходов на промышленных площадках металлургических предприятий Уральского региона. Испытания проводились в ходе выполнения работ по торкретированию и ремонту/реконструкции (способом торкретирования) в период с 2020 по 2024 гг. Испытания по устройству футеровок газоходов средствами торкретирования с целью определения оптимальной технологии нанесения торкрет-смеси имели наглядные результаты.

В качестве материала для торкретирования использовалось

пять типов торкрет-смесей как отечественного, так и зарубежного производства. Найден оптимальный вариант технологии нанесения торкрет-массы при угле атаки в 90° при помощи торкрет-установки MPC5 4.30V с полиуретановым соплом длиной 500 мм. Сопла из конструкционных пластиков обеспечивают меньший износ и, хотя их устойчивость к высоким температурам и давлению может быть ограничена, для проведения ремонтов газоходов их применение вполне допустимо. Авторы говорят о необходимости создания отечественных вариантов торкрет-смесей, в основе которых будут применены местные материалы, что позволит сократить затраты.

Ключевые слова: торкретирование, торкрет-масса, газоходы, футеровка, огнеупоры, композитные материалы.

Abstract. The article presents the results of research in the field of technologies for the device of lining gas ducts using gunite at industrial facilities. In the study, the authors used the opportunity to repair gas ducts at industrial sites of metallurgical enterprises in the Ural region to conduct mechanical tests. The tests were carried out during gunite and repair/reconstruction work (using gunite) in the period from 2020 to 2024. Tests on the device of lining gas ducts using gunite, in order to determine the optimal technology for applying the gunite mixture, had clear results.

Five types of gunite mixtures of both domestic and foreign

Введение

Проблема создания новых строительных материалов напрямую связана с разработкой новых технологий в строительстве. Эта взаимосвязь в конечном итоге определяет направления развития современного строительства. Изучением и разработкой современных технологий в производстве торкрет-бетонов, решающих различные задачи, занимаются многие отечественные исследователи [1; 2; 3; 4]. Исследованием свойств цемента и улучшением прочностных показателей при бетонировании с учётом задач сокращения затрат занимаются и зарубежные исследователи [5; 6; 7].

Предлагается, например, использовать в качестве заполнителя золу рисовой шелухи Хайбер-Пахтунхвы (RNA) для улучшения механических свойств цемента [8], использовать резиновые заполнители [9; 10] и так далее.

Высок потенциал геополлимерных композитов в роли современных изоляционных материалов для зданий и сооружений, обеспечивающих не только качество комплекса строительно-технических свойств, но и предполагающих обеспечение требований к долговечности цементного камня [11; 12]. Армированные волокнами полимерные композиты позволяют использовать бетон в качестве основания для ремонта с помощью модифицированных полимерных растворов, это обеспечивает более высокую прочность сцепления, чем при использовании обычных цементных растворов. Кроме того, исследования показывают, что добавление волокон и различных типов конструкций может улучшить механические свойства бетона [13; 14].

Интерес представляют разработанные новые торкрет-массы, применяемые преимущественно для горячих ремонтов футеровок промышленных агрегатов методом торкретирования, где при смачивании компонентов в торкрет-машине сульфидол образует пену, а керамическое волокно, напитываясь влагой, образуют агрегаты, которые лучше сцепляются с футеровкой, что приводит к снижению расхода торкрет-массы [15].

Способ торкретирования даёт возможность покрывать сложные формы без больших затрат, связанных с возведением опалубки. Производители и разработчики торкрет-бетона стремятся увеличить его прочностные и деформационные характеристики. Эффективным вариантом решения этой проблемы является использование технологии фиброармирования, обеспечивающего необходимую структуру, с пониженной проницаемостью и

production were used as a material for gunite. The optimal version of the technology for applying the gunite mass at an attack angle of 90° using an MPC5 4.30V gunite installation with a 500 mm long polyurethane nozzle was found. Nozzles made of structural plastics provide less wear and, although their resistance to high temperatures and pressure may be limited, their use for repairing flues is entirely acceptable. The authors talk about the need to create domestic versions of shotcrete mixtures based on local materials, which will reduce costs.

Keywords: gunning, gunite mass, flues, lining, refractories, composite materials.

улучшенными эксплуатационными свойствами. Материал торкрет-фибробетон состоит из двух разнородных материалов – из торкрет-бетона и фибры (заполнителя), имеет чёткую границу раздела между ними, что положительно влияет на формирование матрицы [16].

Разрабатываются новые модели для технологических процессов ремонта футеровки торкретированием. Например, торкретирование недефицитными торкрет-массами с использованием диссоциации карбонатной пыли в торкрет-факеле способствует снижению температуры их плавления и создаёт эффект прилипания частиц к футеровке [17].

Огнеупорные материалы применяются в отечественной промышленности, в том числе при использовании технологии торкретирования. К примеру, сырьевая база Урала позволяет производить высокоустойчивые огнеупоры. Применение местных глин возможно для получения огнеупорных материалов (при условии использования химических добавок, повышающих пластические и теплоизоляционные свойства) [18].

Применяются новые способы нанесения бетонной смеси с внедрением электростатики в торкрет-бетон, что позволяет ускорить время первоначального схватывания цементного теста за счёт более быстрой гидратации смеси и снижения отскока [19; 20].

Целью данного исследования является определение оптимальной технологии устройства футеровок газоходов средствами торкретирования на промышленных объектах Урала.

Материалы и методы

В ходе исследования применялись комплексный подход и обобщение анализа научных материалов, а также рассматривалось мнение специалистов. Используемые методы системного и ситуационного анализа, метод экспертных оценок, логических построений, наблюдения и сравнений позволили аргументировать целесообразность использования оптимальной технологии устройства футеровок газоходов средствами торкретирования на промышленных объектах Урала.

Особенностью организации огнеупорной футеровки газоходов высокотемпературных тепловых агрегатов является то, что износ теплоизоляции по длине газоходов происходит неравномерно (движение воздуха и газов в разных частях происходит с разной температурой и скоростью). Зачастую требуется создание комбинированных футеровок [21]. Поэтому технологии футеровки газоходов огнеупорными массами методом торкретирования дают

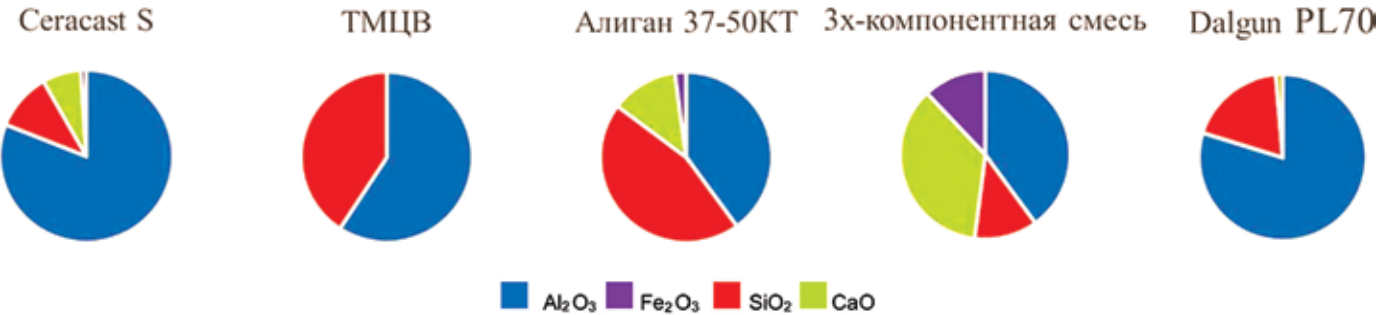


Рис. 1. Соотношение составов материалов, участвующих в испытаниях
Fig. 1. Ratio of compositions of materials participating in tests

№ пп.	Наименование материала, производитель	Химический состав – %	Плотность, т/м
1	Ceracast T ООО «Интрей Полимерные Системы»	Al ₂ O ₃ – 79 SiO ₂ – 10,5 CaO – 7 Fe ₂ O ₃ – ≤1	2,7
2	ТМЦВ ООО «Огнеупор»	Al ₂ O ₃ – 27 CaO – 18,6	1,97
3	Трёхкомпонентная смесь в составе: - глинозёмистый цемент-500, - шамотный порошок класса Б, - асбест хризолитовый А-370	Al ₂ O ₃ – 35-50 SiO ₂ – 5-15 Fe ₂ O ₃ – 5-15 CaO – 35-45 Al ₂ O ₃ – 30 CaO – 15,0 Fe ₂ O ₃ – 7,0 MgO – 43,46 SiO ₂ – 43,5 H ₂ O – 13,04	2,57
4	Dalgun PL70 ООО «Группа Магнезит»	MgO – 72,9 SiO ₂ – 17,20 CaO – 1,21	2,5
5	Алиган 37 50К ООО «Алитер Акси»	Al ₂ O ₃ – 38 SiO ₂ – 43 CaO – 12 Fe ₂ O ₃ – 2	1,8

Табл. 1. Материалы, используемые в проводимых испытаниях
Tab. 1. Materials used in the tests conducted

возможность проводить ремонты в сложных условиях без продолжительной остановки производства [22; 23; 12].

В нашем исследовании для проведения механических испытаний мы использовали возможность осуществления ремонта газоходов металлургических объектов Урала. Испытания проводились в ходе выполнения работ по торкретированию и ремонту/реконструкции (способом торкретирования) в период с 2020 по 2024 гг. на промышленных площадках металлургических предприятий Уральского региона, таких как ПАО «ММК» (г. Магнитогорск), АО «Уральская Сталь» (г. Новотроицк), АО «СЧПЗ» (г. Сатка).

Работы велись в соответствии с требованиями технологического регламента по ведению торкретных работ производителей огнеупорных смесей. Нанесение торкрет-массы производилось как на необработанную поверхность, так и с дополнительным приданием ей шероховатости. Исследования показывают, что на гладких поверхностях отскок увеличивается на 30–50 % в сравнении с шероховатыми. Использовался торкрет-бетон как зарубежного, так и отечественных производителей с целью определения оптимальных вариантов состава торкрет-массы и технологии её нанесения. В испытаниях применялись 5 разновидностей материала: Ceracast T (ООО «Интрей Полимерные Системы»); ТМЦВ (ООО «Огнеупор»); трёх-

компонентная смесь в составе: глинозёмистый цемент марки 500, шамотный порошок класса Б, асбест хризолитовый А-370; Dalgun PL70 (ООО «Группа Магнезит»); Алиган 37 50К (ООО «Алитер Акси»). Характеристики материалов приведены в таблице 1.

Испытания проводились на различных поверхностях. Соотношение составов материалов, участвующих в испытаниях, приведены на рисунке 1. Геометрический вид поверхностей: вертикальная и сводовая. Материал поверхности: металлическая с анкером (тип 1), металлическая сетка с анкером (тип 2), железобетонная с сеткой и анкером.

В испытаниях применялась торкрет-установка МРС 4 vario (далее – МРС 4V), предназначенная для нанесения сухих бетонных смесей (рисунок 2). Часто эта установка применяется для нанесения торкрет-массы на стены тоннелей, при ремонте мостовых опор, для создания бетонных гидроизоляционных поверхностей и нанесения жаропрочных бетонов на части промышленных агрегатов (возможно без остановки на ремонт).

Принцип работы установки прост. Дозированная торкрет-масса загружается в воронку с вибратором. Вращающимся движением дозировочного турникета смесь при помощи сжатого воздуха проталкивается в эжектор. В эжекторе смесь воздухом проталкивается через транспортный шланг в цемент-пушку, где идёт увлажнение сухой смеси распылённой водой, затем торкрет-бетон выбрасывается через сопло на заданную поверхность. Торкрет-смесь наносится с большой скоростью, это способствует хорошей адгезии с поверхностью.



Рис. 2. Торкрет-установка МРС 4 V
Fig. 2. Shotcrete machine MPCS 4 V

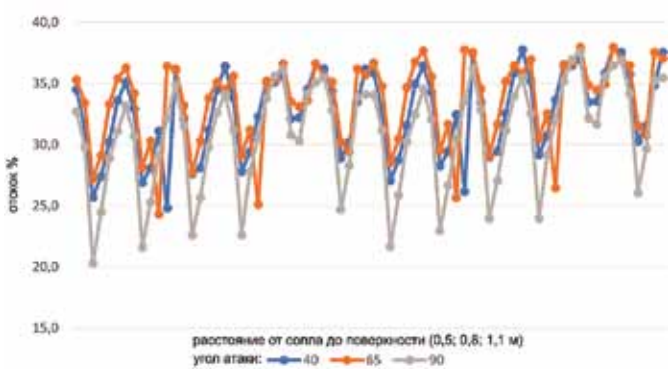


Рис. 3. График влияния угла нанесения на величину отскока при использовании смеси Ceracast T
Fig. 3. Graph of the effect of the angle of application on the rebound value when using the Ceracast T mixture

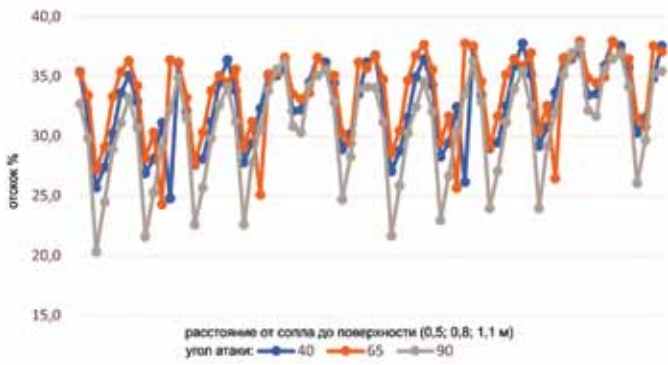


Рис. 4. График влияния угла нанесения на величину отскока при использовании смеси ТМЦВ
Fig. 4. Graph of the effect of the angle of application on the rebound value when using the TMCV mixture

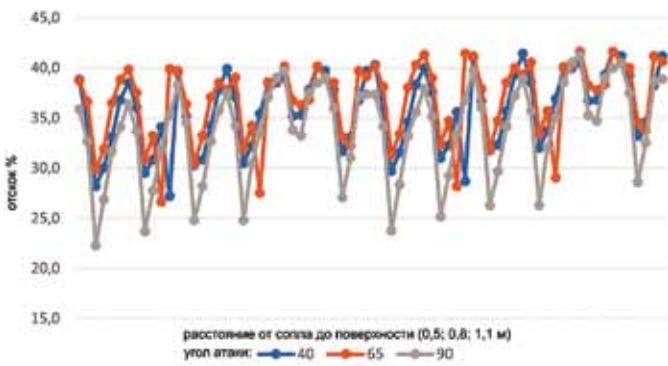


Рис. 5. График влияния угла нанесения на величину отскока при использовании трёхкомпонентной смеси
Fig. 5. Graph of the effect of the angle of application on the rebound value when using a three-component mixture

В испытаниях применялись сопла из двух типов материала – полиуретана и стали. Длины сопел – 500 и 300 мм.

Результаты

Испытания по организации футеровок газоходов средствами торкретирования на промышленных объектах Урала с целью определения оптимальной технологии нанесения торкрет-смеси имели наглядные результаты. Результаты испытаний с применением пяти типов смесей представлены на рисунках 3, 4, 5, 6, 7.

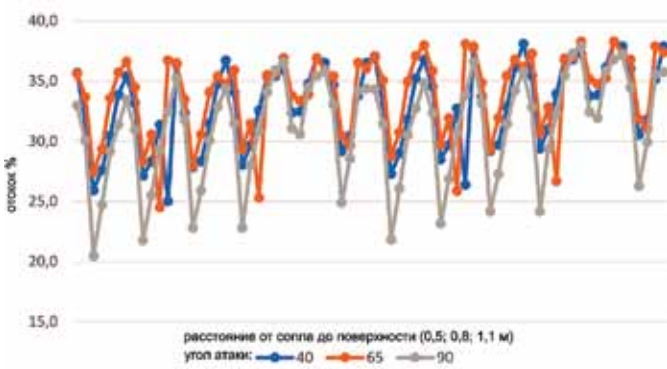


Рис. 6. График влияния угла нанесения на величину отскока при использовании смеси Dalgun PL70
Fig. 6. Graph of the effect of the angle of application on the rebound value when using the Dalgun PL70 mixture

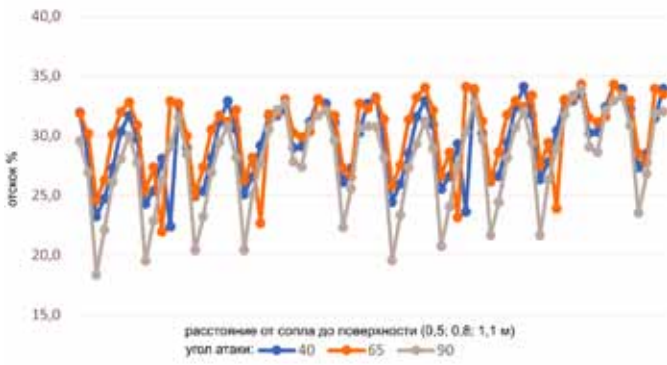


Рис. 7. График влияния угла нанесения на величину отскока при использовании смеси Алиган 37 50К
Fig. 7. Graph of the effect of the angle of application on the rebound value when using the Aligan 37 50K mixture

В результате проведённых испытаний была выявлена зависимость величины отскока различных материалов от различных параметров. Зависимость представлена на графике (рисунок 8).

Проведённые опыты показали, что наименьший отскок достигается при нанесении на металлическую поверхность с анкером (тип 1) торкрет-установкой МРС 4.30V с полиуретановым соплом длиной 500 мм. Оптимальное расстояние между соплом и поверхностью составляет 1,1 м, угол атаки – 90°. При данных условиях достигается минимальный отскок в размере от 18,3 до 22,3 % в зависимости от типа материала.

Обсуждение

Проведённые испытания подтвердили гипотезу о целесообразности использования метода торкретирования при устройстве футеровок газоходов на промышленных объектах Урала. Найден оптимальный вариант технологии нанесения торкрет-массы при угле атаки в 90° при помощи торкрет-установкой МРС 4.30V с полиуретановым соплом длиной 500 мм. Сопла из конструкционных пластиков обеспечивают меньший износ и, хотя их устойчивость к высоким температурам и давлению может быть ограничена, для проведения ремонтов газоходов их применение вполне допустимо.

Все пять разновидностей торкрет-масс, применяемых в ходе испытаний, показали схожие результаты. При этом

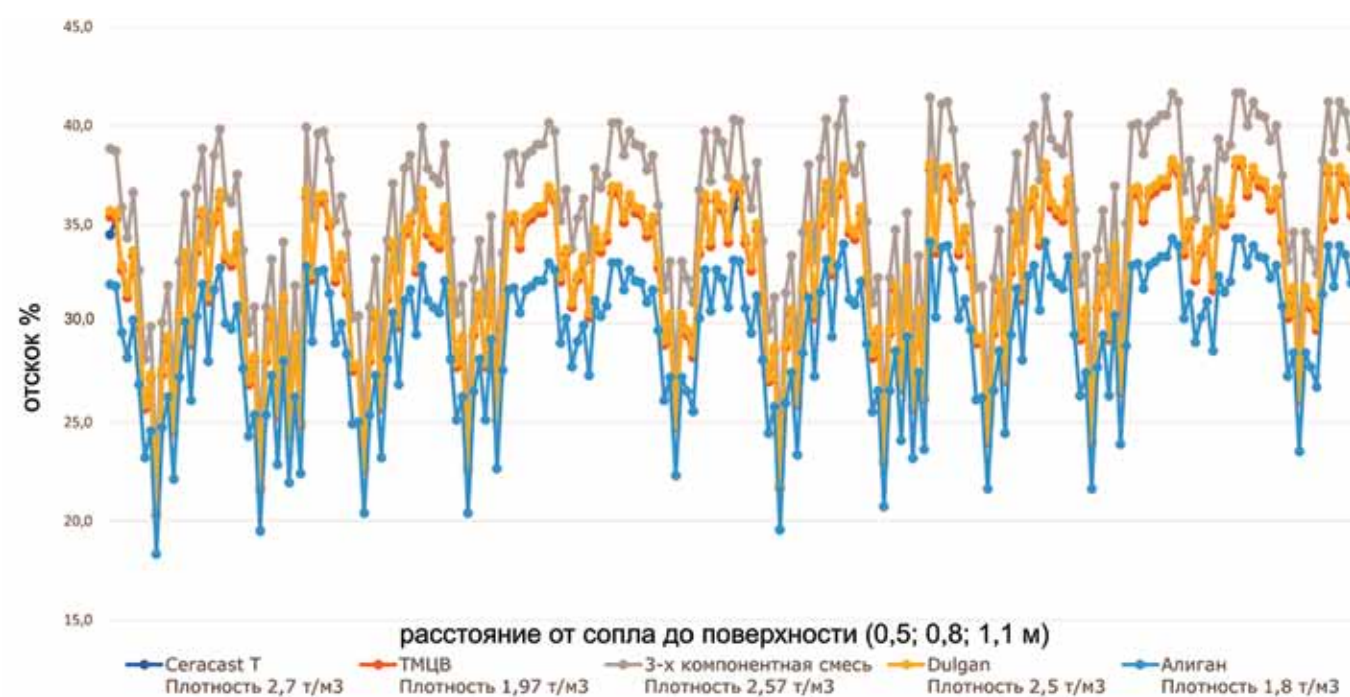


Рис. 8. График зависимости величины отскока материала от различных параметров
Fig. 8. Graph of the dependence of the rebound value of the material on various parameters

видится необходимым создание отечественных вариантов торкрет-смесей, в основе которых будут применены местные материалы. Это позволит сократить затраты.

Заключение

В результате проведённых испытаний была выявлена зависимость величины отскока материала от различных параметров. Проведённые опыты показали, что наименьший отскок достигается при нанесении на металлическую поверхность с анкером торкрет-установкой МРС 4.30V с

полиуретановым соплом длиной 500 мм. Оптимальное расстояние между соплом и поверхностью составляет 1,1 м, угол атаки – 90°. При данных условиях достигается минимальный отскок в размере от 18,3 до 22,3 % в зависимости от типа материала.

Видится необходимым создание отечественных вариантов торкрет-смесей, в основе которых будут применены местные материалы. Это позволит сократить затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Якимив, П. В. Изучение технологии торкретирования и разработка составов ремонтных смесей для мокрого торкретирования с использованием местных материалов Волгоградской области / П. В. Якимив // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тезисы докладов ; отв. ред. С. В. Кузьмин. – Волгоград, 26–30 апреля 2021 года. – Волгоград, 2021. – С. 449.
- Экспериментальные исследования зависимостей прочностных характеристик торкретбетонного слоя от технологических параметров нанесения бетонной смеси / Е. Э. Бурак, Э. В. Сазонов, В. Н. Семенов, А. Н. Ткаченко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 2 (22). – С. 73–82.
- Патент на изобретение RU 2681153 C1, Российская Федерация. Сухая строительная смесь для приготовления торкретраствора : заявка № 2018103163 от 29.01.2018 : опубл. 04.03.2019 / П. А. Ефимов, А. В. Гагулаев, С. Н. Полещиков ; патентообладатель ООО фирма «ВЕФТ».
- Патент на изобретение RU 2674484 C1, Российская Федерация. Сырьевая смесь для жаростойкого теплоизоляционного торкрет-бетона : заявка № 2018102482 от 22.01.2018 : опубл. 11.12.2018 / Д. В. Боруевич, Р. М. Ахмедьянов, Б. Я. Трофимов ; ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».
- Khlystov, A. I. Improving the Efficiency and Quality of Refractory Lining Materials / A. I. Khlystov // Current Issues of Science and Education. – 2009. – No. 1. – P. 40.
- Kim, D.-J. Characteristics of Restrained Drying Shrinkage on Arched Steel Fiber-Reinforced Concrete / D.-J. Kim, S.-H. Kim, W.-C. Choi // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11 (16). – Art. 7537. – URL: <https://doi.org/10.3390/app11167537>.
- Перепелицын, В. А. Минерально-сырьевая база для производства современных огнеупоров (продолжение) / В. А. Перепелицын, И. В. Юсекова, Л. В. Остряков // Огнеупоры и техническая керамика. – 2008. – № 6. – С. 53–64.
- Yun, H.-D. Effects of Reinforcing Fiber Strength on Mechanical Properties of High-Strength Concrete / H.-D. Yun, S.-H. Lim, W.-C. Choi. – DOI 10.3390/fib7100093 // Fibers. – 2019. – Vol. 7 (10). – Art. 93.
- Microstructure and Mechanical Properties of Cement Mortar Containing Phase Change Materials / H.-D. Yun, J.-W. Lee, Y.-I. Jang, S.-J. Jang, W. Choi. – DOI 10.3390/app9050943 // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9 (5). – Art. 943.
- Performance evaluation of Khyber Pakhtunkhwa Rice Husk Ash (RHA) in improving mechanical behavior of cement / W. Khan, K. Shehzada, T. Bibi, S. Ul Islam, S. W. Khan. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.213 // Construction and

- Building Materials. – 2018. – Vol. 176. – Pp. 89–102.
- Energy-Efficient Geopolymer Composites Containing Phase-Change Materials-Comparison of Different Contents and Types / A. Przybek, M. Łach, R. Bogucki, J. Ciernicka, K. Pratat, A. Koper, K. Korniejewski, A. Masłoń. – DOI 10.3390/ma17194712 // Materials (Basel). – 2024. – Vol. 17 (19). – Art. 4712.
- Пашков, Е. И. Современные строительные теплоизоляционные материалы / Е. И. Пашков, М. Б. Пермяков, Т. В. Краснова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2020. – Т. 11, № 2. – С. 15–19.
- Repair overlays of modified polymer mortar containing glass powder and composite fibers-reinforced slag: mechanical properties, energy absorption, and adhesion to substrate concrete / K. Momeni, N. I. Vatin, M. Hematibahar, T. H. Gebre // Frontiers in Built Environment. Section Construction Materials. – 2024. – Vol. 10. – URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1479849>.
- Regularities of changes in material properties for some polymer-concrete ratios / A. N. Ilin, M. B. Permyakov, V. M. Andreev, T. V. Krasnova. – DOI 10.1051/e3sconf/201911001009 // E3S Web of Conferences : 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018, Санкт-Петербург, 10–12 декабря 2018 года. – Санкт-Петербург, 2019. – Т. 110. – С. 01009.
- Патент на изобретение RU 2271346 C2, Российская Федерация. Торкрет-масса : заявка № 2004113854/03 от 05.05.2004 : опубл. 10.03.2006 / Е. Н. Дёмин, А. В. Сарычев, К. Е. Борзенков.
- Особенности формирования торкретфибробетонной матрицы на основе дисперсного армирования / Т. А. Голова, Н. В. Андреева, И. А. Магеррамова // Современное строительство и архитектура. – 2020. – № 3 (19). – С. 11–15.
- Моделирование термодинамических закономерностей торкретирования футеровки конвертеров карбонатными торкрет-массами / Р. Ф. Калимуллин, Е. В. Протопопов, А. Г. Чернятевич, И. А. Жибинова // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2013. – № 3 (5). – С. 4–8.
- Use of local materials in refractory shotcreting of gas ducts / E. I. Pashkov, M. B. Permyakov, T. V. Krasnova // AIP Conference Proceedings : VII International Conference “Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures” (SPCEI2021), Екатеринбург, 27–28 мая 2021 года. – Екатеринбург, 2023. – Т. 2701. – С. 020036.
- The effect of three-stage ionization on the structure formation of a concrete mixture during shotcrete / V. Y. Mishchenko, A. L. Semenov, L. N. Titova, D. V. Loboda // Real Estate: Economics, Management. – 2023. – No. 1. – Pp. 59–66.
- Permyakov, M. B. Lining application by means of gunning (using machine TOR-1) / M. B. Permyakov, E. I. Pashkov, T. V. Krasnova. – DOI 10.1007/978-3-031-21120-1_9 // Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2022, Сочи, 04–10 сентября 2022 года. – Сочи, 2023. – Т. 308. – С. 89–97.
- Technology for gunning gas ducts of heat generating units with combined refractory lining / E. I. Pashkov, M. B. Permyakov, T. V. Krasnova, A. A. Gerasimova. – DOI 10.1063/5.0099431 // AIP Conference Proceedings : Proceedings of the international conference on engineering research 2021 (ICER 2021) / International Scientific and Practical Symposium “Materials Science and Technology” (MST2021), Москва, 20–22 октября 2022 года. – Москва, 2022. – Т. 2559. – С. 060012.
- Пашков, Е. И. Защита теплотехнических агрегатов в агрессивной высокотемпературной среде строительными теплоизоляционными материалами / Е. И. Пашков, М. Б. Пермяков, Т. В. Краснова // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13, № 2. – Ст. 14.
- Пашков, Е. И. Современные технологии футеровки газопроводов тепловых агрегатов огнеупорными материалами / Е. И. Пашков, М. Б. Пермяков, Т. В. Краснова. – DOI <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.108.6.015> // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 6 (108). – С. 95–99.

REFERENCES

- Yakimiv, P. V. Izuchenie tekhnologii torkretirovaniya i razrabotka sostavov remonnykh smesey dlya mokrogo torkretirovaniya s ispol'zovaniem mestnykh materialov Volgogradskoy oblasti [Study of shotcrete technology and development of repair mixture compositions for wet shotcrete using local materials of the Volgograd region] / P. V. Yakimiv // Konkurs nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta : tezisy dokladov [Competition of scientific research works of students of Volgograd State Technical University : Abstracts] ; otv. red. S. V. Kuzmin [edited by S. V. Kuzmin]. – Volgograd, April 26–30, 2021. – Volgograd, 2021. – P. 449.
- Ekspperimental'nye issledovaniya zavisimostej prochnostnykh kharakteristik torkretbetonnogo sloya ot tekhnologicheskikh parametrov naneseniya betonnoy smesi [Experimental studies of the dependence of the strength characteristics of the shotcrete layer on the technological parameters of applying the concrete mixture] / E. E. Burak, E. V. Sazonov, V. N. Semenov, A. N. Tkachenko // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture]. – 2011. – No. 2 (22). – Pp. 73–82.
- Patent na izobretenie RU 2681153 C1, Rossijskaya Federatsiya [Patent for invention RU 2681153 C1, Russian Federation]. Sukhaya stroitel'naya smes' dlya prigotovleniya torkret-rastvora [Dry construction mix for the preparation of shotcrete mortar] : zavavka № 2018103163 ot 29.01.2018 : opubl. 04.03.2019 [application No. 2018103163 dated 29.01.2018 : published 04.03.2019] / P. A. Efimov, A. V. Gagulaev, S. N. Poleshchikov ; patentoobladatel' OOO firma «VEFT» [patent holder, LLC firm “VEFT”].
- Patent na izobretenie RU 2674484 C1, Rossijskaya Federatsiya [Patent for invention RU 2674484 C1, Russian Federation]. Syrevaya smes' dlya zharostojkogo teploizolyatsionnogo torkret-betona [Raw material mixture for heat-resistant thermal insulation shotcrete] : zavavka № 2018102482 ot 22.01.2018 : opubl. 11.12.2018 [application No. 2018102482 dated 01/22/2018 : published on 12/11/2018] /

D. V. Bogusevich, R. M. Akhmedyanov, B. Ya. Trofimov ; FGAOU VO «YUzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet (natsional'nyj issledovatel'skij universitet)» [FGAOU VO "South Ural State University (National Research University)"].

5. Khlystov, A. I. Improving the Efficiency and Quality of Refractory Lining Materials / A. I. Khlystov // Current Issues of Science and Education. – 2009. – No. 1. – P. 40.

6. Kim, D.-J. Characteristics of Restrained Drying Shrinkage on Arched Steel Fiber-Reinforced Concrete / D.-J. Kim, S.-H. Kim, W.-C. Choi // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11 (16). – Art. 7537. – URL: <https://doi.org/10.3390/app1167537>.

7. Perepelitsyn, V. A. [Mineral resource base for the manufacture of modern refractories (continuation)] / V. A. Perepelitsyn, I. V. Yuksekova, L. V. Ostryakov // Ogneupory i tekhnicheskaya keramika [Refractories and Technical Ceramics]. – 2008. – No. 6. – Pp. 53–64.

8. Yun, H.-D. Effects of Reinforcing Fiber Strength on Mechanical Properties of High-Strength Concrete / H.-D. Yun, S.-H. Lim, W.-C. Choi. – DOI 10.3390/fib7100093 // Fibers. – 2019. – Vol. 7 (10). – Art. 93.

9. Microstructure and Mechanical Properties of Cement Mortar Containing Phase Change Materials / H.-D. Yun, J.-W. Lee, Y.-I. Jang, S.-J. Jang, W. Choi. – DOI 10.3390/app9050943 // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9 (5). – Art. 943.

10. Performance evaluation of Khyber Pakhtunkhwa Rice Husk Ash (RHA) in improving mechanical behavior of cement / W. Khan, K. Shehzada, T. Bibi, S. Ul Islam, S. W. Khan. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.213 // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 176. – Pp. 89–102.

11. Energy-Efficient Geopolymer Composites Containing Phase-Change Materials-Comparison of Different Contents and Types / A. Przybek, M. Łach, R. Bogucki, J. Ciemnicka, K. Pralat, A. Koper, K. Korniejenko, A. Masłoń. – DOI 10.3390/ma17194712 // Materials (Basel). – 2024. – Vol. 17 (19). – Art. 4712.

12. Pashkov, E. I. Sovremennye stroitel'nye teploizolyatsionnye materialy [Modern building thermal insulation materials] / E. I. Pashkov, M. B. Permyakov, T. V. Krasnova // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya [Actual problems of modern science, technology and education]. – 2020. – Vol. 11, No. 2. – Pp. 15–19.

13. Repair overlays of modified polymer mortar containing glass powder and composite fibers-reinforced slag: mechanical properties, energy absorption, and adhesion to substrate concrete / K. Momeni, N. I. Vatin, M. Hematibahar, T. H. Gebre // Frontiers in Built Environment. Section Construction Materials. – 2024. – Vol. 10. – URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1479849>.

14. Regularities of changes in material properties for some polymer-concrete ratios / A. N. Ilin, M. B. Permyakov, V. M. Andreev, T. V. Krasnova. – DOI 10.1051/e3sconf/201911001009 // E3S Web of Conferences : 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018, St. Petersburg, December 10-12, 2018. – St. Petersburg, 2019. – Vol. 110. – P. 01009.

15. Patent na izobretenie RU 2271346 C2, Rossijskaya Federatsiya [Patent for invention RU 2271346 C2, Russian Federation]. Torkret-massa [Shotcrete mass] : zavavka № 2004113854/03 ot 05.05.2004 : opubl. 10.03.2006 [application No. 2004113854/03 dated 05.05.2004 : published on 10.03.2006] / E. N. Demin, A.V. Sarychev, K. E. Borzenkov.

16. Golova, T. A. Osobennosti formirovaniya torkretfibrobetonnoj matritsy na osnove dispersnogo armirovaniya [Features of the formation of a shotcrete fiber concrete matrix based on dispersed reinforcement] / T. A. Golova, N. V. Andreeva, I. A. Maharramova // Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura [Modern construction and architecture]. – 2020. – No. 3 (19). – Pp. 11–15.

17. Modelirovanie termogazodinamicheskikh zakonornostej torkretirovaniya futerovki konverterov karbonatnymi torkretmassami [Modeling of thermogasdynamic regularities of gunning of converter linings with carbonate gunning masses] / R. F. Kalimullin, E. V. Protopopov, A. G. Chernyatevich, I. A. Zhibinova // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta [Bulletin of the Siberian State Industrial University]. – 2013. – No. 3 (5). – Pp. 4–8.

18. Use of local materials in refractory shotcreting of gas ducts / E. I. Pashkov, M. B. Permyakov, T. V. Krasnova // AIP Conference Proceedings : VII International Conference "Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures" (SPCECI2021), Yekaterinburg, May 27-28. – Yekaterinburg, 2023. – Vol. 2701. – P. 020036.

19. The effect of three-stage ionization on the structure formation of a concrete mixture during shotcrete / V. Y. Mishchenko, A. L. Semenov, L. N. Titova, D. V. Loboda // Real Estate: Economics, Management. – 2023. – No. 1. – Pp. 59–66.

20. Permyakov, M. B. Lining application by means of gunting (using machine TOR-1) / M. B. Permyakov, E. I. Pashkov, T. V. Krasnova. – DOI 10.1007/978-3-031-21120-1_9 // Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2022, Sochi, September 04-10, 2022. – Sochi, 2023. – Vol. 308. – Pp. 89–97.

21. Technology for gunning gas ducts of heat generating units with combined refractory lining / E. I. Pashkov, M. B. Permyakov, T. V. Krasnova, A. A. Gerasimova. – DOI 10.1063/5.0099431 // AIP Conference Proceedings : Proceedings of the international conference on engineering research 2021 (ICER 2021) / International Scientific and Practical Symposium "Materials Science and Technology" (MST2021), Moscow, October 20-22, 2022. – Moscow, 2022. – Vol. 2559. – P. 060012.

22. Pashkov, E. I. Zashchita teplotekhnicheskikh agregatov v agresivnoj vysokotemperaturnoj srede stroitel'nymi teploizolyatsionnymi materialami [Protection of thermal units in an aggressive high-temperature environment using building thermal insulation materials] / E. I. Pashkov, M. B. Permyakov, T. V. Krasnova // Vestnik evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2021. – Vol. 13, No. 2. – Art. 14.

23. Pashkov, E. I. Sovremennye tekhnologii futerovki gazokhodov teplovyykh agregatov ogneupornymi materialami [Modern technologies for lining gas ducts of heat generating units with refractory materials] / E. I. Pashkov, M. B. Permyakov, T. V. Krasnova. – DOI <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.108.6.015> // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. – 2021. – No. 6 (108). – Pp. 95–99.

УДК 693.5

DOI: 10.54950/26585340_2025_1_119

Технология возведения перегородок повышенной звукоизоляции при строительстве многоквартирных жилых зданий

Technology for Constructing Partitions with Increased Sound Insulation During the Construction of Multi-Apartment Residential Buildings

Макаров Александр Николаевич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, anmakarof@yandex.ru

Makarov Alexander Nikolaevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), 129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, anmakarof@yandex.ru

Федоренко Сергей Владимирович

Аспирант, председатель Совета Ассоциации саморегулируемой организации «Альянс строителей Приморья», Россия, 690012, Владивосток, улица Калинина, 42, офис 214, 909908@inbox.ru

Fedorenko Sergey Vladimirovich

Postgraduate student, Chairman of the Council of the Association of Self-Regulatory Organization "Alliance of Primorye Builders", Russia, 690012, Vladivostok, Kalinina ulitsa, 42, office 214, 909908@inbox.ru

Аннотация. В статье поднимается проблема низкой звукоизоляции в многоквартирных домах. Выполнен обзор существующих конструктивных решений и выявлен ряд их недостатков. Предлагается новое техническое решение, которое заключается в создании трёхслойной монолитной перегородки с наружными слоями из армированного мелкозернистого бетона, а внутренним слоем из пенополистирола. По мнению автора, это позволит решить противоположные задачи – с одной стороны, обеспечить необходимую конструктивную жёсткость и огнестойкость, с другой – высокую шумоизоляцию. Кроме этого, этот способ позволяет увеличить скорость выполнения работ по устройству межквартирных перегородок и обеспечить за счёт применения недорогих строительных материалов невысокую

стоимость, и самое главное – повысить комфортность проживания граждан во многоквартирном жилье.

В статье представлена схема данной перегородки и описано её конструктивное решение. Выполнен первый шаг по разработке новой технологии по возведению монолитной трёхслойной перегородки, а именно – указаны требования к готовности стройплощадки и фронта работ, описаны подготовительные работы, определены состав и последовательность технологических операций, ведомость потребных материалов и оборудования. В заключении статьи указаны последующие задачи и перспективы исследования.

Ключевые слова: строительные технологии, звукоизоляция, многослойные перегородки, многоквартирные здания.

Abstract. The article raises the problem of low sound insulation in apartment buildings. An overview of existing design solutions has been carried out and a number of their shortcomings have been identified. A new technical solution is proposed, which consists in creating a three-layer monolithic partition with outer layers of reinforced fine-grained concrete, and an inner layer of expanded polystyrene. According to the author, this will solve the opposite problems – on the one hand, to provide the necessary structural rigidity and fire resistance, on the other – high noise insulation. In addition, this method allows you to increase the speed of work on the installation of inter-apartment partitions and ensure, through the use of inexpensive building materials, low cost, and most importantly - to increase the comfort of living

in multi-apartment housing.

The article presents a diagram of this partition and describes its design solution. The first step has been taken to develop a new technology for the construction of a monolithic three-layer partition, namely, the requirements for the readiness of the construction site and the work front are specified, preparatory work is described, the composition and sequence of technological operations are determined, a list of required materials and equipment. The conclusion of the article indicates the subsequent tasks and prospects of the study.

Keywords: construction technologies, sound insulation, multi-layer partitions, apartment buildings.

Введение

Низкая звукоизоляция квартир – основной раздражающий фактор жителей многоквартирных домов. Этот вывод подтверждается различными исследователями, например, в городах Костроме [1], Самаре [2], Красноярске [3].

Расчёты и измерения показывают, что основная причина шума в квартирах – несоответствие межквартирных перегородок и межэтажных перекрытий требованиям

СП 51.13330.2011 «Защита от шума», который установил минимальный индекс звукоизоляции от воздушного шума $R_w = 52$ Дб. При этом многие теоретические решения на практике не достигают заявленной степени звукоизоляции в силу исполнения указанных конструкций из мелкоштучных элементов (кирпичи, блоки, листы), из-за незаделанных стыков которых звукоизоляция резко снижается. На это указывают многие учёные [4; 5; 6; 7], подтверждая, что даже небольшие отверстия и зазоры,

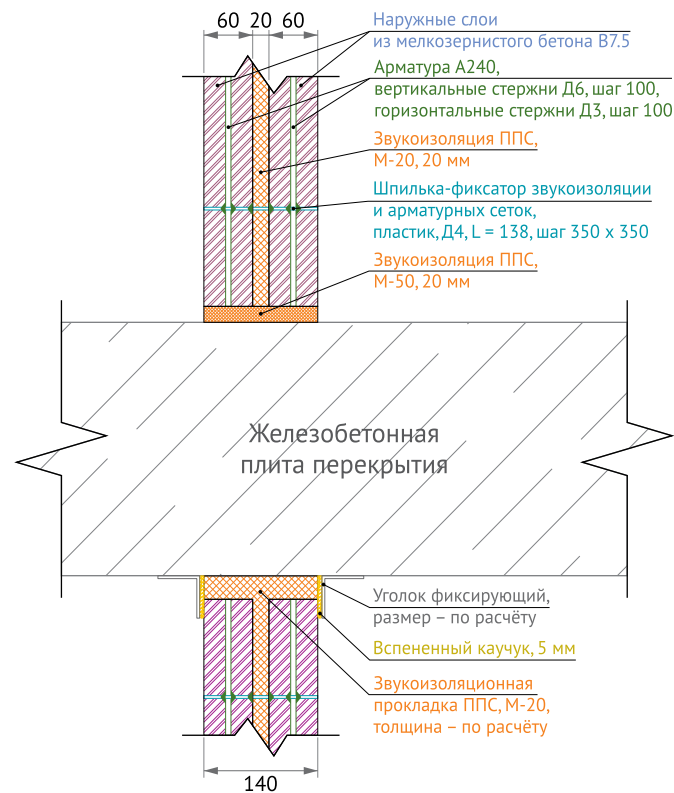


Рис. 1. Конструктивное решение проектируемой межквартирной перегородки с повышенной звукоизоляцией
Fig. 1. The constructive solution of the projected inter-apartment partition with increased sound insulation

которые неизбежно возникают при кладке, губительно влияют на индекс звукоизоляции.

Традиционные решения, повышающие звукоизоляцию, либо дорогостоящие, либо занимают значительный объём внутреннего пространства в жилых помещениях [8].

К первым можно отнести изготовление перегородок на основе несущего профилированного листа с обшивкой с обеих сторон слоями разнородных материалов [9], или устройство обрешётки из металлопрофиля с обшивкой с обеих сторон двухслойными кварцевыми панелями либо гипсокартонными листами (ГКЛ), с заполнением внутреннего пространства минераловатным наполнителем [10], либо даже вакуумные звукоизоляционные решения [11]. Ко вторым можно отнести перегородку из блоков толщиной 400 мм, оштукатуренную с двух сто-

№ пп.	Наименование
1	Стойки
2	Укосы
3	Щиты опалубки 1×1 м с резьбой под штуцер Д65
4	Подмости
5	Резьбовой фиксатор длиной 138 мм
6	Внешний площадочный вибратор
7	Растворонасос плунжерно-диафрагменный типа СО-50АМ со шлангами

Табл. 1. Оборудование и инвентарь
Tab. 1. Equipment and inventory

рон, либо двухслойную перегородку из блоков толщиной 200 мм со звукоизоляционным вкладышем.

Исследователи отмечают высокую перспективность применения слоистых конструкций [12; 13] и применение пенополистирола [14]. Сложность также заключается в том, что нужно одновременно с высокой звукоизоляцией обеспечить необходимую несущую способность [15].

Актуальность проблемы также подтверждается различными социологическими опросами потребителей, например:

- по данным ВЦИОМ [16], подавляющее большинство опрошенных (86 %) сообщили, что повышенная звукоизоляция является одним из критериев выбора квартиры (опрос в июне 2021 г.);
- по данным ГИС [17], уровень шумоизоляции – лидер по общему числу критических отзывов (опрос в сентябре 2020 г.);
- по данным Райфайзенбанка [18], 53 % респондентов считают слышимость главным раздражающим фактором в новостройках (опрос в сентябре 2020 г.);
- в Санкт-Петербурге жители отнесли к наиболее критическим недостаткам домов первых массовых серий низкую звукоизоляцию (третий по значимости фактор) после маленькой площади кухонь и прихожих [19].

На основании вышеперечисленного можно сделать вывод, что на данный момент не существует эффективного с экономической и технологической точек зрения решения проблемы низкой звукоизоляции в многоквартирных домах.

Цель статьи – разработать концептуальную конструкцию межквартирной перегородки, решающей поставленную проблему.

В задачи исследования входят:

- разработка конструкции межквартирной перегородки, отвечающей критериям прочности, надёжности, повышенной звукоизоляции;
- определить потребные материалы, инструменты и приспособления для возведения межквартирных перегородок новой конструкции;
- определить технологическую последовательность возведения межквартирной перегородки по разработанной конструкции;
- обосновать экономическую целесообразность применения в строительстве новой конструкции межквартирной перегородки.

Решение поставленных задач способствует созданию и обоснованию новой конструкции межквартирных перегородок, позволяющей эффективно решить проблему звукоизоляции в многоквартирных домах.

Материалы и методы

Для решения поставленной проблемы автор предлагает применить в качестве межквартирных перегородок

№ пп.	Наименование технологической операции
1 ярус (отм. 0.00 – 1.00)	
1	Установить стойки с двух сторон от перегородок с шагом 1 м. Расположение стоек может быть не соосным
2	Установить упоры стоек
3	В местах расположения дверных проёмов установить коробки размерами в проём
4	По периметру от дверных коробок звукоизоляционный слой заменить на противопожарную отсечку шириной 100 мм, выполненную из листового негорючего риг-материала
5	Заливка нижнего яруса:
6	Уложить на перекрытие горизонтальную звукоизоляционную прокладку-отсечку из ППС М-50 толщиной 20 мм, шириной 120 мм
7	Установить вертикальный звукоизоляционный слой на нижний звукоизоляционный слой, закрепить с помощью пеногерметика. В вертикальном положении зафиксировать его с помощью шпилек-фиксаторов в количестве 4 штук на 1 кв. м
8	Установить арматурные каркасы высотой 1,1 м с обеих сторон от вертикального звукоизоляционного слоя, зафиксировать их с помощью шпилек-фиксаторов
9	Установить в нижний уровень инвентарные щиты скользящей опалубки, обработанные противoadгезионными смазками. В отверстие для штуцера для шланга на этом этапе должна быть вкручена заглушка
10	Начать заливку бетонной смесью слоями по 200 мм. После заливки каждого слоя уплотнять смесь с помощью поверхностных вибраторов. Следить за равномерным заполнением пазух с обеих сторон, чтобы разница давлений не повредила звукоизоляционный слой. Заливку нижнего сегмента опалубки завершить не более чем за 20 минут, чтобы не мешать формированию цементного камня
11	После заливки нижнего яруса в верхнюю часть бетонного слоя установить арматурные стержни длиной 100 мм с шагом 200 мм так, чтобы половина каждого стержня располагалась в залитом слое, а оставшаяся часть – в заливке второго яруса
2 ярус (отм. 1.00 – 2.00)	
12	Между заливкой нижнего и среднего ярусов должно пройти не менее 12 и не более 24 часов. Если меньше – есть риск, что при перемещении опалубки возникнет большое количество дефектов, если больше – бетон может сильно прилипнуть и трудно будет передвинуть опалубочные щиты
13	В остальном процесс полностью повторяет операции нижнего яруса
14	Заливка верхнего яруса (отметки 2.00 – 3.00):
15	Установить в рабочее положение звукоизоляционный слой, арматурные каркасы, закрепить их с помощью резьбовых фиксаторов
16	Горизонтальный звукоизоляционный слой довести до верхней горизонтальной звукоизоляционной прокладки
17	Щиты опалубки устанавливаются с учётом деформационного зазора 20–40 мм между верхом перегородки и низом плиты перекрытия (его размер уточнить по проекту)
3 ярус (отм. 2.00 – низ верхней плиты перекрытия)	
18	Заливка верхнего яруса производится через фланцы в щитах опалубки, бетонная смесь уплотняется с помощью площадочных вибраторов
19	Спустя сутки можно приступать к демонтажу опалубочной конструкции, а именно укосов, стоек, опалубочных щитов
20	После демонтажа выполняется затирка поверхностей от дефектов, борозд после опалубки и стоек, зачеканивание зазоров после усадки

Табл. 2. Технологические операции и технологическая последовательность возведения трёхслойной монолитной межквартирной перегородки

Tab. 2. Technological operations and technological sequence of construction

конструкцию, представленную на рисунке 1: это трёхслойная перегородка с наружными слоями из мелкозернистого бетона В7,5, армированного металлической сеткой Д6-100/Д3-100, с внутренним слоем из пенополистирола.

За счёт применения прослойки из пенополистирола конструкция перегородки приобретает необходимую звукоизоляцию. В существующих решениях для межквартирных перегородок применяются звукоизоляционные плиты в сборных перегородках из блоков. Но данное решение имеет существенные недостатки, а именно: большая толщина конструкции – от 200 мм (блок 80 мм, минеральная вата 40 мм, блок 80 мм), а также значительная трудоёмкость возведения. Предложенная конструкция межквартирной перегородки – за счёт применения монолитного железобетона – имеет меньшую толщину, более высокую прочность, а также – за счёт автоматизации процесса – меньшую трудоёмкость.

Для изготовления межквартирной перегородки разработанной конструкции требуется следующий инвентарь и оборудование, представленные в таблице 1.

Для выполнения строительно-монтажных работ по возведению межквартирной перегородки необходимо

обеспечить следующие требования по строительной готовности фронта работ:

- должны быть завершены работы по устройству межэтажных перекрытий, внутренних частей наружных стен, установке окон;
 - захватка должна быть размерами, как правило, в полный этаж здания или в пожарный отсек;
 - температурный режим в месте производства работ должен быть в интервале от +5 до +30 градусов;
 - необходимо наличие трёхфазной электрической линии с разрешённой мощностью не менее 10 кВт.
- До начала работ по монтажу трёхслойной монолитной перегородки необходимо выполнить следующие подготовительные работы:
- произвести очистку строительного основания;
 - произвести разбивку осей межквартирных и межкоридорных перегородок, вынести их на пол и на низ верхнего перекрытия;
 - расположить комплекты инвентаря, арматурных сеток и звукоизолирующих листов в местах, не мешающих для монтажа перегородок.

№ пп.	Наименование	Известные решения	Трёхслойная монолитная перегородка
1	Толщина перегородки, мм	200	140
2	Площадь, занимаемая межквартирными перегородками, по полу, м²	518	383
3	Площадь здания полезная, м²	10700	10835
4	Стоимость продаваемой площади, млрд руб. (при цене 190 тыс. руб. за 1 кв. м)	2,033	2,059

Табл. 3. Сравнительный анализ экономического эффекта от уменьшения толщины межквартирных перегородок
Tab. 3. Comparative analysis of the economic effect of reducing the thickness of inter-apartment partitions

Для разработки технологии выполнения работ по возведению новой трёхслойной монолитной перегородки авторы использовали методы системного и морфологического анализа, элементы мысленного и компьютерного эксперимента, элементы планирования эксперимента.

Результаты

В соответствии с предложенной конструкцией межквартирной перегородки, авторы разработали компьютерную модель межквартирной перегородки для теоретических расчётов несущей способности перегородки в программных комплексах, что будет представлено в дальнейших работах авторов. На основании разработанной компьютерной модели был выработан перечень технологических операций на этапе мысленного эксперимента по возведению межквартирной перегородки новой конструкции. В таблице 2 представлено описание технологического процесса монтажа предлагаемой авторами трёхслойной монолитной перегородки. Все операции в таблице указаны последовательно в соответствии с предлагаемой технологией возведения.

В рамках проработки технологического цикла возведения перегородки авторы предусмотрели мероприятия по уходу за многослойными перегородками, которые выполняются в соответствии с СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции», п. 5.4 «Выдерживание и уход за бетоном». Для предотвращения возникновения усадочных трещин необходимо избегать быстрого твердения бетона, ежедневно, в течение 7 дней поливать конструкции водой, защищать от прямого солнечного света, следить за температурным режимом.

Обсуждение результатов

По результатам исследования разработана конструкция межквартирной перегородки, отвечающая высоким критериям звукоизоляции. По своим звукоизоляционным характеристикам она сравнима с трёхслойными перегородками из блоков. Но, в отличие от существующих конструкций, предложенное в статье решение имеет уменьшенную толщину. На данном этапе уже можно оценить повышение эффективности капиталовложений

застройщика благодаря уменьшению толщины звукоизоляционной перегородки с текущих 200 мм до 140 мм.

Для сравнительного анализа взят объект – 231-квартирный, 21-этажный жилой дом во Владивостоке (ЖК «Оазис», расположенный по адресу: г. Владивосток, ул. Русская, д. 95), общей площадью 12 600 м², полезной – 10 700 м². Результаты расчёта представлены в таблице 3.

Из этого расчёта следует, что прямой экономический эффект только из-за уменьшения толщины составляет 25 млн руб. и увеличивает рентабельность застройщика на 6 % (при планируемой прибыли 40 тыс. руб. с кв. м), даже без учёта значительного увеличения потребительской ценности благодаря повышенному уровню комфорта проживания.

Разработанная в статье технологическая последовательность возведения трёхслойной монолитной перегородки отличается высоким уровнем механизации (подача и заливка раствора с помощью растворонасоса) по сравнению с существующими технологиями возведения звукоизоляционных перегородок. Данное обстоятельство повышает технологичность перегородки, снижает трудоёмкость возведения и открывает перспективы для дальнейшей автоматизации процесса.

Заключение

По результатам решения поставленных в статье задач разработана и обоснована новая конструкций межквартирной перегородки повышенной звукоизоляции, определены основные принципы технологии её возведения – требуемые материалы, инструменты и приспособления, выделены и описаны все технологические операции по возведению перегородки, определена технологическая последовательность всех операций. В обсуждении результатов представлена экономическая целесообразность предложенного решения при возведении многоквартирных домов.

Практическая и теоретическая значимость статьи заключается в разработке конструктивного решения межквартирной перегородки с повышенной звукоизоляцией, в определении состава технологических операций по устройству данных перегородок и их последовательности. Предполагаемая конструкция имеет признаки высокотехнологичной с точки зрения строительного производства и высокоэффективной с точки зрения повышения эксплуатационных качеств квартир.

В качестве дальнейших шагов исследования предстоит выполнить акустический расчёт и расчёт устойчивости новой межквартирной перегородки на основании проведения компьютерного эксперимента, испытания анкерных креплений, разработать технологическую карту, произвести расчёт трудоёмкости всех операций, выполнить все этапы планирования эксперимента и, в завершении, провести эксперимент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкина, М. А. Проблемы звукоизоляции в жилых помещениях новостроек г. Костромы / М. А. Галкина // Развитие науки и практики в контексте глобальных вызовов : сборник статей по материалам 75-й Международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО Костромской ГСХА, Караваево, 25 января 2024 года. – Караваево, 2024. – С. 132–137.

2. Орлов, О. Г. Проблема создания акустически комфортной среды в городе / О. Г. Орлов // Постиндустриальная среда российских мегаполисов : Сборник статей по материалам научно-технической конференции с международным участием, Самара, 2020. – Под. ред. М. В. Шувалова, Е. А. Ахмедовой, Т. В. Караковой. – Самара : СамГТУ, 2020. – С. 127–131.

3. Анализ звукоизоляции жилого помещения и мероприятий по снижению уровня шума / М. Л. Берсенева, А. А. Раевская, А. О. Быков, А. И. Платицына // Лучшая научно-исследовательская работа 2017 : Сборник статей победителей VII Международного научно-практического конкурса, Пенза, 10 апреля 2017 года ; ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – Пенза : Наука и Просвещение, 2017. – С. 71–74.

4. Цыганков, В. В. К вопросу улучшения акустики жилых помещений / В. В. Цыганков, К. А. Воробьёва // Строительство-2016 : Материалы II Брянского международного инновационного форума. Том 2. Актуальные проблемы градостроительства, жилищно-городского комплекса, и экологии городской среды. Секция № 3, Брянск, 1 декабря 2016 года. – Брянск : БГИТУ, 2016. – С. 139–142.

5. Абдывалиев, Р. А. К вопросу о проблемах звукоизоляции в новостройках г. Костромы (на примере 3 объектов) / Р. А. Абдывалиев, М. А. Галкина // Наука, образование, технологии: вчера, сегодня, завтра : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 16 ноября 2023 года. – Петрозаводск : Международный центр научно-го партнёрства «Новая Наука», 2023. – С. 156–162.

6. Новосельцев, Ю. П. Звукоизоляция межквартирных перегородок и межэтажных перекрытий в жилых домах / Ю. П. Новосельцев, Е. В. Чумасова, Е. В. Шалагинова // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018) : Сборник статей XVIII Всероссийской научно-практической конференции: в 3 томах. Том 2, Киров, 2–28 апреля 2018 года. – Киров : Вятский государственный университет, 2018. – С. 629–635.

7. Оценка звукоизоляции внутренних стен и перегородок на объекте «Разноэтажный жилой дом с объектами социально-бытового и культурного назначения (СКБ) и подземной автостоянкой. 1 очередь блок-секция 11», расположенном по адресу: 22 микрорайон, г. Ангарск, на пересечении Ленинградского проспекта и улицы Космонавтов : отчёт инструментального исследования / ООО «Акустические технологии». – 2009.

8. Тихомиров, Р. В. Влияние конструктивного решения межкомнатных стен на индекс звукоизоляции / Р. В. Тихомиров, С. Э. Фатыхов // Актуальные вопросы современной науки : Сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции. Том 3, Уфа, 2 июня

2023 года. – Уфа, 2023. – С. 135–141.

9. Исследования звукоизоляции новых типов многослойных ограждающих конструкций зданий / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. В. Монич, Д. Л. Щеголев, П. А. Гребнев, С. А. Паузин // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году. Том 2 ; Российская академия архитектуры и строительных наук. – Москва : Издательство АСВ, 2019. – С. 100–113.

10. Белолипецкая, В. А. Особенности применения различных звукоизолирующих материалов в монолитном строительстве / В. А. Белолипецкая, А. М. Кривошапов, Л. М. Весова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 5 (89). – С. 493–501.

11. Боголепов, И. И. Влияние акустических отверстий на звукоизоляцию строительных конструкций / И. И. Боголепов // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 1 (3). – С. 17–20.

12. Славин, Р. Б. Звукоизоляция многоэтажных зданий / Р. Б. Славин, А. И. Самойличенко // Потенциал интеллектуально одарённой молодёжи – развитию науки и образования : Материалы XII Международного научного форума молодых учёных, инноваторов, студентов и школьников. Том 12, Астрахань, 29–31 мая 2023 года. – Астрахань, 2023. – С. 132–135.

13. Зотов, Ю. Н. Проектирование внутренних перегородок зданий / Ю. Н. Зотов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность : сборник статей. – Под ред. М. И. Бальзанникова, К. С. Галицкова, Ю. Э. Сеницкого ; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара, 2016. – С. 194–198.

14. К вопросу о звукоизоляции жилых помещений / К. М. Агеева, А. М. Косухин, М. А. Богачёва, М. М. Косухин // Международный студенческий строительный форум – 2017 : сборник докладов: в 2 томах. Том 2, Белгород, 2017. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. – С. 9–12.

15. Ерофеев, В. И. Резервы повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций зданий / В. И. Ерофеев, Д. В. Монич // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22, № 5. – С. 98–110.

16. Жизнь в городе: как сделать её комфортной? : данные онлайн-исследования среди жителей городов-миллионников от 17 июня 2021 г. / Ассоциация «Национальное объединение организаций в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» // ВЦИОМ : [интернет-ресурс]. – URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/zhizn-v-gorode-kak-sdelat-ee-komfortnoi>.

17. Густова, Н. Ужасный сервис и высокие потолки: за что ругают и хвалят новостройки (опрос сервиса 2ГИС о новом жилье в 62 городах России от 01.10.2020) / Н. Густова // РБК : [интернет-ресурс]. – URL: <https://realty.rbc.ru/news/5f758cc29a7947618e2405e3>.

18. Райффайзенбанк: каждый четвёртый россиянин хотел бы оформить ипотеку удалённо (онлайн-опрос с выборкой более трёх тысяч жителей 11 крупных городов страны от 8.09.2020) / Райффайзенбанк : [интернет-ресурс]. – URL: <https://www.raiffeisen.ru/about/press/releases/155200/>.

REFERENCES

- Galkina, M. A. Problemy zvukoizolyatsii v zhilykh pomeshheniyakh novostroek g. Kostromy [Problems of sound insulation in residential buildings in Kostroma] / M. A. Galkina // Razvitiye nauki i praktiki v kontekste global'nykh vyzovov : sbornik statej po materialam 75-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii FGBOU VO Kostromskoj GSKHA, Karavaevo, 25 yanvarya 2024 goda [Development of science and practice in the context of global challenges : a collection of articles based on the materials of the 75th International Scientific and Practical Conference of the Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, January 25, 2024]. – Karavaevo, 2024. – Pp. 132–137.
- Orlov, O. G. Problema sozdaniya akusticheskoi komfortnoy sredy v gorode [The problem of creating an acoustically comfortable environment in the city] / O. G. Orlov // Postindustrial'naya sreda rossijskikh megapolisov : Sbornik statej po materialam nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Samara, 2020 [The post-industrial environment of Russian megacities : A collection of articles based on the materials of a scientific and technical conference with international participation, Samara, 2020]. – Edited by M. V. Shuvalov, E. A. Akhmedova, T. V. Karakova. – Samara : SamSTU, 2020. – Pp. 127–131.
- Analiz zvukoizolyatsii zhilogo pomeshcheniya i meropriyatij po snizheniyu urovnya shuma [Analysis of soundproofing of residential premises and measures to reduce noise levels] / M. L. Berseneva, A. A. Rayevskaya, A. O. Bykov, A. I. Platitsyna // Luchshaya nauchno-issledovatel'skaya rabota 2017 : Sbornik statej pobeditelej VII Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo konkursa, Penza, 10 aprelya 2017 goda ; FGAOU VO «Sibirskij federal'nyj universitet» [The best research work 2017 : Collection of articles by the winners of the VII International scientific and practical competition, Penza, April 10, 2017 ; Siberian Federal University]. – Penza : Nauka i Prosveshchenie [Science and Enlightenment, 2017]. – Pp. 71–74.
- Tsygankov, V. V. K voprosu uluchsheniya akustiki zhilykh pomeshhenij [On the issue of improving the acoustics of residential premises] / V. V. Tsygankov, K. A. Vorobyeva // Stroitel'stvo-2016 : Materialy II Bryanskogo mezhdunarodnogo innovatsionnogo foruma. Tom 2. Aktual'nye problemy gradostroitel'stva, zhilishhno-gorodskogo kompleksa, i ehkologii gorodskoj sredy. Sektsiya № 3, Bryansk, 1 dekabrya 2016 goda [Construction-2016 : Materials of the II Bryansk International Innovation Forum. Volume 2. Actual problems of urban development, housing and urban complex, and ecology of the urban environment. Section No. 3, Bryansk, December 1, 2016]. – Bryansk : BGITU, 2016. – Pp. 139–142.
- Abdyvaliev, R. A. K voprosu o problemakh zvukoizolyatsii v

19. Иванов, Д. С. Учёт мнения потребителей домов первых массовых серий при определении реконструктивных мероприятий / Д. С. Иванов // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 5 (58). – С. 5–12.

- novostroykakh g. Kostromy (na primere 3 ob'ektov) [On the issue of soundproofing problems in new buildings in Kostroma (using 3 objects as an example)] / R. A. Abdyvaliev, M. A. Galkina // Nauka, obrazovanie, tekhnologii: vchera, segodnya, zavtra : Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Petrozavodsk, 16 noyabrya 2023 goda [Science, education, technology: yesterday, today, tomorrow : Collection of articles of the International scientific and practical conference, Petrozavodsk, November 16, 2023]. – Petrozavodsk : Mezhdunarodnyj tsentr nauchnogo partnyorstva «Novaya Nauka» [International Center for Scientific Partnership "New Science"], 2023. – Pp. 156–162.
- Novoseltsev, Yu. P. Zvukoizolyatsiya mezhkvartirnykh peregorodok i mezhehtazhnykh perekrytij v zhilykh domakh [Sound proofing of inter-apartment partitions and inter-floor ceilings in residential buildings] / Yu. P. Novoseltsev, E. V. Chumasova, E. V. Shalaginova // Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK-2018) : Sbornik statej XVIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 3 tomakh. Tom 2, Kirov, 2–28 aprelya 2018 goda [Society. Science. Innovations (NPK-2018) : Collection of articles of the XVIII All-Russian scientific and practical conference : in 3 volumes. Volume 2, Kirov, April 2–28, 2018]. – Kirov : Vyatskij gosudarstvennyj universitet [Vyatka State University], 2018. – Pp. 629–635.
 - Otsenka zvukoizolyatsii vnutrennikh sten i peregorodok na ob'ekte «Raznoehtazhnyj zhiлой dom s ob'ektami sotsial'no-bytovogo i kul'turnogo naznacheniya (SKB) i podzemnoj avtostoyankoj. 1 ochered' blok-sektsiya 11», raspolozhenom po adresu: 22 mikrorajon, g. Angarsk, na peresechenii Leningradskogo prospekta i ulitsy Kosmonavtov : otchyot instrumental'nogo issledovaniya [Assessment of soundproofing of internal walls and partitions at the facility: "Multi-storey residential building with social and cultural facilities (SKB) and an underground parking lot. 1st stage, block section 11", located at the address: 22nd microdistrict of Angarsk at the intersection of Leningradsky Prospekt and Cosmonauts Street instrumental research report] / OOO «Akusticheskie tekhnologii» [Acoustic Technologies LLC]. – 2009.
 - Tikhomirov, R. V. Vliyanie konstruktivnogo resheniya mezhkomnatnykh sten na indeks zvukoizolyatsii [Influence of the design solution of interior walls on the sound insulation index] / R. V. Tikhomirov, S. E. Fatykhov // Aktual'nye voprosy sovremennoj nauki : Sbornik nauchnykh statej po materialam II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tom 3, Ufa, 2 iyunya 2023 goda [Actual issues of modern science : A collection of scientific articles based on the materials of the II International scientific and practical conference, Volume 3, Ufa, June 2, 2023]. – Ufa, 2023. – Pp. 135–141.
 - Issledovaniya zvukoizolyatsii novykh tipov mnogostojnykh

- ograzhdayushhikh konstruksij zdaniy [Studies of sound insulation of new types of multilayer enclosing structures of buildings] / V. N. Bobylev, V. A. Tishkov, D. V. Monich, D. L. Shchegolev, P. A. Grebnev, S. A. Puzin // Fundamental'nye, poiskovyie i prikladnye issledovaniya Rossijskoj akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federatsii v 2018 godu. Tom 2 ; Rossijskaya akademiya arkhitektury i stroitel'nykh nauk [Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2018. Volume 2] ; [Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. – Moscow : Izdatel'stvo ASV [Publishing House of the Association of Construction Universities], 2019. – Pp. 100–113.
- Belolipetskaya, V. A. Osobennosti primeneniya razlichnykh zvukoizoliruyushhikh materialov v monolitnom stroitel'stve [Features of the application of various soundproofing materials in monolithic construction] / V. A. Belolipetskaya, A. M. Krivoschapov, L. M. Vesova // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2022. – No. 5 (89). – Pp. 493–501.
 - Bogolepov, I. I. Vliyanie akusticheskikh otverstij na zvukoizolyatsiyu stroitel'nykh konstruksij [Influence of acoustic openings on the soundproofing of building structures] / I. I. Bogolepov // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal [Engineering and Construction Magazine]. – 2009. – No. 1 (3). – Pp. 17–20.
 - Slavin, R. B. Zvukoizolyatsiya mnogoetazhnykh zdaniy [Soundproofing of multi-storey buildings] / R. B. Slavin, A. I. Samoilichenko // Potentsial intellektual'no odaryonnoj molodyozhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya : Materialy XII Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodykh uchyonnykh, innovatorov, studentov i shkol'nikov. Tom 12, Astrakhan', 29–31 maya 2023 goda [The potential of intellectually gifted youth - for the development of science and education : Proceedings of the XII International Scientific Forum of Young Scientists, Innovators, Students and Schoolchildren. Volume 12, Astrakhan, May 29–31, 2023]. – Astrakhan, 2023. – Pp. 132–135.
 - Zotov, Yu. N. Proektirovanie vnutrennikh peregorodok zdaniy [Design of internal partitions of buildings] / Yu. N. Zotov // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Estestvennye nauki i tekhnosfernaya bezopasnost' : sbornik statej [Traditions and innovations in construction and architecture. Natural sciences and technosphere safety : a collection of articles]. – Edited by M. I. Balzannikov, K. S. Galitskov, Yu. E. Sensitsky ; Samarskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet [Samara State University of Architecture and Civil Engineering]. – Samara, 2016. – Pp. 194–198.

- K voprosu o zvukoizolyatsii zhilykh pomeshhenij [On the issue of soundproofing of residential premises] / K. M. Ageeva, A. M. Kosukhin, M. A. Bogacheva, M. M. Kosukhin // Mezhdunarodnyj studencheskij stroitel'nyj forum –2017 : sbornik dokladov: v 2 tomakh. Tom 2, belgorod, 2017 [International Student Construction Forum-2017 : collection of reports: in 2 volumes. Volume 2, Belgorod, 2017]. – Belgorod : BSTU named after V. G. Shukhov, 2017. – Pp. 9–12.
- Erofeev, V. I. Rezervy povysheniya zvukoizolyatsii odnoslojnykh i mnogostojnykh ogradhdayushhikh konstruksij zdaniy [Reserves for improving the soundproofing of single-layer and multi-layer enclosing structures of buildings] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2020. – Vol. 22, No. 5. – Pp. 98–110.
- Zhizn' v gorode: kak sdelat' eyo komfortnoj? : dannye onlajn-issledovaniya sredi zhitelej gorodov-milionnikov ot 17 iyunya 2021 g. [Life in the city: how to make it comfortable? : online research data among residents of cities with a population of one million dated June 17, 2021] / Assotsiatsiya «Natsional'noe ob'edinenie organizatsij v oblasti ehnergosberezheniya i povysheniya ehnergeticheskoy ehffektivnosti» [Association "National Association of Organizations in the field of energy conservation and energy Efficiency improvement"] // VTSIOM [All-Russian Center for the Study of Public Opinion] : [online resource]. – URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskiei-obzor/zhizn-v-gorode-kak-sdelat-ee-komfortnoi>.
- Gustova, N. Uzhasnyj servis i vysokie potolki: za chto rugayut i khvalyat novostroyki (opros servisa 2GIS o novom zhi'e v 62 gorodakh Rossii ot 01.10.2020) [Terrible service and high ceilings: why new buildings are scolded and praised (survey of the 2GIS service on new housing in 62 cities of Russia from 01.10.2020)] / N. Gustova // RBC : [online resource]. – URL: <https://realty.rbc.ru/news/5f758cc29a7947618e2405e3>.
- Rajffajzenbank: kazhdyj chetyvortyj rossiyanin khotel by oformit' ipoteku udalynno (onlajn-opros s vyborkoj bolee tryokh tysyach zhitelej 11 krupnykh gorodov strany ot 8.09.2020) [Raiffeisenbank: one in four Russians would like to apply for a mortgage remotely (online survey with a sample of more than three thousand residents of 11 major cities of the country dated 8.09.2020)] / Raiffeisenbank : [online resource]. – URL: <https://www.raiffeisen.ru/about/press/releases/155200/>.
- Ivanov, D. S. Uchyot mneniya potrebitelej domov pervykh massovykh serij pri opredelenii rekonstruktivnykh meropriyatij [Taking into account the opinion of consumers of houses of the first mass series when determining reconstruction measures] / D. S. Ivanov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2016. – No. 5 (58). – Pp. 5–12.



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ТЕХНОЛОГИИ И ЭКСПЕРТИЗЫ
СТРОИТЕЛЬСТВА



ИНЖИНИРИНГОВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОТ ЛИДЕРА ОТРАСЛИ



+7 (495) 032-05-54

г. Москва,
Сущёвский вал, 16 стр. 5

www.niexp.com

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Статья или её части не должны быть ранее опубликованы или находиться на рассмотрении в других изданиях. Автор несёт ответственность за соответствие информации, содержащейся в представленных документах.
2. Статьи должны содержать результаты научных исследований, аналитику, описание проектов и др. в области технического регулирования в строительстве.
3. Статью необходимо представить в электронном виде.
4. Перед названием статьи должен быть указан индекс УДК.
5. Название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотацию, ключевые слова, название таблиц и иллюстраций следует приводить на русском и английском языках.
6. На отдельном листе нужно представить сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью), учёная степень, звание, должность, место работы, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.
7. Объём рукописи не должен превышать 20 страниц (файл в формате .doc в MS Word).
8. Текст статьи должен быть напечатан следующим образом: с подрисовочными подписями, номерами рисунков и необходимыми пояснениями к ним; шрифт – Times New Roman, 12 пт., межстрочный интервал – полуторный.
9. Рисунки с подрисовочными подписями и номерами следует направлять отдельными файлами в формате .jpeg (разрешение не менее 300 dpi). Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи.
10. Библиографический список на русском и английском языках должен включать только литературу, цитируемую в статье. Ссылки на источники следует приводить в тексте в квадратных скобках. Список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.5 - 2008.

Страна: Россия Город: Москва
ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ (4 ВЫПУСКА В ГОД)

ISSN 2658-5340 (Print)

**Научно-технический журнал
«Строительное производство» издаётся с 2010 года
под следующими наименованиями:**

с 2010 года – «Техническое регулирование. Строительство.
Проектирование. Изыскания»

с 2012 года – «Технология и организация строительного производства»

с 2019 года – «Строительное производство»

Издатель: ООО «Национальный образовательный центр»

Учредитель: Стариков Ю.И.

Главный редактор: Липидус А. А.

Выпускающий редактор: Козлова А. Ю.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

**Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 75299
от 25.03.2019 ЭЛ № ФС 77 – 75165 от 22.02.2019**

Цитирование, частичное или полное воспроизведение материалов –
только с согласия редакции

Авторы опубликованных материалов несут ответственность
за достоверность приведенных в статьях сведений, точность данных
по цитируемой литературе и за использование в статьях данных,
не подлежащих открытой публикации

Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения,
не разделяя точку зрения автора

Редакция не несет ответственности за содержание рекламы
и объявлений

СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО 1 (53) 2025
Дата публикации: 31 марта 2025 года

Отпечатано в типографии ООО «PROMZONA»
105066, Москва, ул. Ольховская, д. 14, стр. 4
Тираж 550 экз. Свободная цена

Корректор: Широкова М. А.
Дизайн и верстка: Соколов А. Е.



Телефон: +7 (495) 162 61 02
e-mail: info@build-pro.press
сайт журнала: www.build-pro.press

127018, РФ, Москва, Сущёвский Вал,
д. 16, стр. 5, этаж 4, кабинет 405
сайт издательства: www.mosnec.com

© Редакция научно-технического журнала «Строительное производство», 2025