

ISSN 2658-5340 (Print)



СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 2010 г.

**CONSTRUCTION
PRODUCTION**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**№3
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»
МЕНЕИЛЮК 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»
РЫБАКОВА А. О. – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
САБИТОВ Л. С. – д-р техн. наук, профессор, 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-МАРТИРОСЯН 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

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЕЁ РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MRP Лapidус А. А., Ильина Л. В., Иконникова А. В., Агеева Я. Д., Михайленко Р. М.	2
ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ НАДЁЖНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ Сабитов Л. С., Гарькин И. Н., Закирова М. А., Хусаинов Р. Д.	10
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЦЕНООБРАЗОВАНИЮ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА: ОПЫТ РОССИИ И КАЗАХСТАНА Коротеев Д. Д., Бекен Ж.	15
КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ САПР И ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ В ТУРКМЕНИСТАНЕ Самсонов Р. О., Черкезова Г., Аразов Б.	21
ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВЫПОЛНЕНИЯ ФУНКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАКАЗЧИКА ПРИ ВВОДЕ ОБЪЕКТА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ Топчий Д. В., Лавреняк И. В.	27
МАКСИМАЛЬНАЯ СТЕПЕНЬ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ ВОЗВЕДЕНИЯ АЭС Шашков А. А.	32
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ КОМПЛЕКТА ЧЕРТЕЖЕЙ «КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИРОВОЧНЫЕ» Фомин Н. И., Соколов М. А.	39
СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА ЗА СЧЁТ ИЗМЕНЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАБОТ Каралли Д. Л.	45
МОДЕРНИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ Лapidус А. А., Минниханова Г. С.	49
ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ Фомин Н. И., Серёгина Н. Ю., Сербин С. А.	57
ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ КАК ОСНОВА ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ Чернышов Л. Н., Калгушкин А. Г.	65
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТРАКТАМИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ Нарежная Т. К., Kargbe A. K.-M.	72
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ МИКРОКЛИМАТА НА ПРИМЕРЕ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ Михеева Ю. Л., Михеев П. О.	76
РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ПРИЁМОВ ВОЗВЕДЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ Синенко С. А., Серёгин А. С.	83
ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН Давлетшин Э. Г.	90
ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ПРИРОДНЫМ И ТЕХНОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ Лapidус А. А., Экба С. И.	96
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАКАЗЧИКА НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПРОЕКТА РЕАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В Г. МОСКВЕ Синенко С. А., Артамонов А. А.	101
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗЕЛЁНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА Чэнь Я., Ли Ц., Миронова Л. И., Лю Ч., Чэнь С.	107
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТУКАТУРНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕЗМАЯЧНОГО МЕТОДА В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА Шаленный В. Т., Олейник П. П., Пахомова Л. А., Замша О. Н., Таджиев А. Ш.	112
РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТООБОРОТА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЗАДАННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ Синенко С. А., Пономарева П. А.	121
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОНКУРСНЫХ ПРОЦЕДУР ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ Олейник П. П., Нелина Д. В.	126
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСОБЕННОСТЬ СОЧЕТАНИЯ ДВУХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА СВАЙ В УСЛОВИЯХ СТЕСНЁННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ Шипилова Н. А., Панин Н. А.	132

УДК 69:658.7 DOI: 10.54950/26585340_2025_3_2

Экономико-математическая модель управления запасами в строительстве и её реализация в программной среде с использованием MRP

Economic and Mathematical Inventory Management Model in Construction and Its Implementation in a Software Environment Using MRP

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, lapidusaa@mgsu.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, lapidusaa@mgsu.ru

Ильина Лилия Владимировна

Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы, стандартизация и сертификация», директор Института цифровых и инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (НГАСУ (Сибстрин)), Россия, 630008, Новосибирск, улица Ленинградская, 113, nsklika@mail.ru

Ilina Liliia Vladimirovna

Doctor of Technical Sciences, Professor Professor of the Department of Building Materials, Standardization and Certification, Director of the Institute of Digital and Engineering Technologies, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (NSUACE (Sibstrin)), Russia, 630008, Novosibirsk, ulitsa Leningradskaya, 113, nsklika@mail.ru

Иконникова Альбина Викторовна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Технология и организация строительства», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (НГАСУ (Сибстрин)), Россия, 630008, Новосибирск, улица Ленинградская, 113, 13foxx@mail.ru

Ikonnikova Albina Viktorovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Construction, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (NSUACE (Sibstrin)), Russia, 630008, Novosibirsk, ulitsa Leningradskaya, 113, 13foxx@mail.ru

Агеева Ярослава Дмитриевна

Ассистент кафедры «Технология и организация строительства», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (НГАСУ (Сибстрин)), Россия, 630008, Новосибирск, улица Ленинградская, 113, ya.ageyeva@sibstrin.ru

Ageeva Yaroslava Dmitrievna

Assistant Professor of the Department of Technology and Organization of Construction, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (NSUACE (Sibstrin)), Russia, 630008, Novosibirsk, ulitsa Leningradskaya, 113, ya.ageyeva@sibstrin.ru

Михайленко Роман Михайлович

Магистрант кафедры «Технология и организация строительства», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (НГАСУ (Сибстрин)), Россия, 630008, Новосибирск, улица Ленинградская, 113, romamih24@mail.ru

Mikhaylenko Roman Mikhailovich

Master's degree student of the Department of Technology and Organization of Construction, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (NSUACE (Sibstrin)), Russia, 630008, Novosibirsk, ulitsa Leningradskaya, 113, romamih24@mail.ru

Аннотация. В наши дни, когда динамика строительных проектов требует максимальной точности в управлении ресурсами, отсутствие эффективных инструментов для прогнозирования складской нагрузки становится критическим фактором, ведущим к перерасходу бюджета, простоям и конфликтам в логистике. Данное исследование направлено на совершенствование экономико-математической модели управления запасами через включение принципов системы Material Requirements

Planning (MRP). Это позволит создать модель для прогнозирования нагрузки на складские площади строительных объектов. Впоследствии расчётные принципы будут реализованы в виде программного обеспечения, оптимизирующего процесс снабжения строительных площадок материально-техническими ресурсами (МТР).

Методология включает комплексный анализ существующих подходов к управлению запасами в строительной отрасли с

последующей адаптацией принципов MRP к специфике строительных проектов. Исследование основано на синтезе количественных и качественных методов, включающих системный анализ логистических процессов на строительной площадке и математическое моделирование.

В результате исследования был получен математический аппарат для создания программного прототипа прогнозирования загруженности склада. Программное решение позволяет в режиме реального времени прогнозировать потребность в складских площадях на любом этапе проекта, автоматически оптимизировать графики поставок материалов, моделировать различные сценарии организации логистических процессов и выполнять визуализацию загрузки складских площадей.

Abstract. In modern conditions, when the dynamics of construction projects requires maximum accuracy in resource management, the lack of effective tools for predicting warehouse utilization has become a critical factor leading to budget overruns, downtime and logistical conflicts. The purpose of this study is to improve the economic and mathematical model of inventory management by integrating the principles of the Material Requirements Planning System (MRP). This will create a model for predicting the use of warehouse space on construction sites. Subsequently, the computational principles will be implemented in the form of software for optimizing the supply of material and technical resources (MTR) to construction sites.

The methodology involves a comprehensive analysis of existing approaches to inventory management in the construction industry, followed by the adaptation of MRP principles to the specifics of construction projects. The research is based on a synthesis of quantitative and qualitative methods, including: systematic analysis of logistics processes on construction sites and mathematical modeling.

Введение

Одной из ключевых проблем в области материально-технического снабжения строительных объектов остаётся недостаточная согласованность между графиками производства работ и процессами закупки, хранения и поставки ресурсов.

Традиционно в отечественной строительной практике применяются эвристические методы при планировании поставок, основанные на опыте работы отдела материально-технического снабжения (ОМТС). За рубежом широкое распространение получили такие подходы к управлению запасами, как Just-in-Time (JIT), ABC-анализ, а также модель экономического размера заказа (EOQ) и др. Эти подходы имеют ряд ограничений, снижающих их применимость в условиях сложных строительных проектов. В этой связи возрастает актуальность интеграции более комплексных систем планирования, к числу которых относится Material Requirements Planning (MRP), ориентированная на синхронизацию материальных потоков с производственными графиками и спецификациями проектов [1].

Концепция JIT, основанная на синхронизации поставок с текущими потребностями производства и минимизации запасов, демонстрирует эффективность при наличии стабильных условий функционирования. Практическое применение данной методологии предполагает сокращение длительности производственного цикла, обеспечение высокого качества продукции и устранение простоев, так как при отсутствии резервов любые отклонения немедленно приводят к нарушению работы всей системы [2]. Успешная реализация JIT возможна при предсказуемом спросе, высокой гибкости и надёжности

Внедрение методики демонстрирует снижение рисков дефицита и избыточных запасов, повышение прозрачности логистики и устойчивости строительного процесса. Аналитический модуль обеспечивает наглядную визуализацию и поддержку управленческих решений. Разработка обладает адаптивностью к различным типам строительных объектов и может быть масштабирована с учётом прогностической аналитики. Представленная система иллюстрирует возможности цифровой трансформации в строительной отрасли, направленной на повышение эффективности управления снабжением.

Ключевые слова: MRP-система; материально-технические ресурсы; автоматизация снабжения; цифровизация; управление запасами; ERP-системы; оптимизация поставок; логистика.

The result of the research was the mathematical basis for the development of a prototype software for predicting warehouse loading. The software solution allows you to predict the need for warehouse space in real time at any stage of the project, automatically optimize material supply schedules, simulate various logistical scenarios and visualize the load distribution of the warehouse.

The implementation of this methodology demonstrates a reduction in the risks of shortage and excess of stocks, increased transparency of logistics and stability of the construction process. The analytical module provides clear visualization and supports decision-making. The solution adapts to different types of construction projects and scales with predictive analytics. This system illustrates the potential of digital transformation in the construction industry aimed at improving the efficiency of supply chain management.

Keywords: MRP system; material and technical resources; supply automation; digitalization; inventory management; ERP systems; supply optimization; logistics.

производственного процесса. При стохастической природе процессов и ограниченной интенсивности управления выполнение производственного плана не может быть обеспечено с вероятностью, равной единице. В связи с этим в условиях неопределённости эффективность JIT-систем снижается, а соблюдение требований синхронности поставок требует дополнительного математического обоснования и оптимизации управления [3].

ABC-анализ используется для классификации объектов управления по степени их значимости, что позволяет перераспределить ресурсы в пользу приоритетных позиций. Применение двухпараметрического ABC-анализа способствует упрощению задач управления номенклатурой техники за счёт ранжирования по ключевым признакам, таким как объём сделок и расход ресурсов. Этот подход позволяет повысить эффективность принятия решений в инженерной практике и сосредоточить усилия на управлении наиболее значимыми элементами, однако он ориентирован преимущественно на распределение управленческого внимания и ресурсов, не охватывая аспекты временной координации поставок с производственными календарями [4].

Модель экономически обоснованного размера заказа (EOQ) ориентирована на минимизацию совокупных издержек, связанных с размещением заказов и хранением материальных ресурсов. Применение базовой формулы Харриса–Уилсона позволяет определить оптимальный объём поставки, обеспечивая экономический эффект за счёт баланса между логистическими и складскими расходами. Тем не менее, базовая модель предполагает стабильный уровень спроса и фиксированные параметры поставок, что затрудняет её адаптацию к условиям стро-

ительного производства, где характерна высокая изменчивость графиков, сезонные колебания и вариативность объёмов потребления [5].

Модифицированные версии модели EOQ, описанные Чуваевым А. Л. и Лямзиным О. В., позволяют учитывать динамику цен, ограниченность складских площадей, условия скидок и иные специфические факторы [6]. Однако даже при учёте вероятностных параметров сохраняются ограничения, связанные с допущениями по достоверности входных данных и устойчивости внешней среды, что снижает универсальность применения модели EOQ в сфере строительной логистики [7].

В отличие от вышеперечисленных подходов к управлению запасами, MRP-система представляет собой интегрированную модель, объединяющую количественный расчёт потребностей, спецификацию состава ресурсов и календарное планирование, согласованное с графиком строительно-монтажных работ. Применение алгоритма, соответствующего системе MRP, позволяет существенно повысить эффективность снабжения за счёт точной синхронизации закупок с потребностями проекта и минимизации издержек, связанных с хранением и дефицитом ресурсов. Такой подход особенно эффективен в условиях строительной отрасли, где характерны высокая динамика спроса и зависимость поставок от производственного ритма [8].

Цифровая трансформация строительной отрасли, обусловленная глобальными трендами автоматизации и ростом сложности проектов, открывает новые возможности для оптимизации МТС. Цифровые инструменты, в частности ERP-системы, обеспечивают точный учёт строительных ресурсов, упрощают организацию закупочной деятельности и представляют динамично обновляемые данные о складских запасах. Эти решения минимизируют риски ошибок и способствуют оперативному принятию решений, повышая конкурентоспособность строительных предприятий. Современные цифровые решения ускоряют обмен данными между участниками строительного процесса, обеспечивая синхронизацию действий на всех этапах цепочки поставок. Это позволяет сократить временные и финансовые издержки, создавая систему, способную оперативно реагировать на изменения рыночных условий [9]. Примеры цифровых решений, используемых в настоящее время на строительных площадках: SAP ERP, 1С:Предприятие, Галактика, Ogasle и др. [10].

На фоне этих изменений строительная отрасль переходит от традиционных логистических моделей к интегрированной цифровой экосистеме, где производственные и снабженческие стратегии объединены в единую структуру. Такая трансформация обеспечивает динамическую координацию материальных, информационных и финансовых потоков, повышая их прослеживаемость и управляемость [11].

Активное внедрение цифровых решений в систему организации и управления производственными процессами охватило практически все сферы промышленности. Изначально цифровизация имела фрагментарный характер – автоматизация затрагивала лишь отдельные этапы производственного цикла, но сегодня они формируют сквозную интеграцию внутренних бизнес-процессов и внешних кооперативных связей, создавая единую цифровую среду для всех участников процесса.

Обеспечение строительной площадки МТР представляет собой межфункциональный процесс, объединяющий производственный отдел, отдел МТС и сметно-договорной отдел. В результате возникает потребность в их интеграции в единую цифровую систему, обеспечивающую синхронизацию процессов, минимизацию логистических рисков и оптимизацию ресурсного планирования, что позволяет сократить издержки и повысить прозрачность управления цепочкой поставок. В этом контексте особое значение приобретают программные комплексы, функционирующие как MRP-системы, которые автоматизируют формирование заявок на закупку с учётом производственных планов, текущих складских остатков и графиков строительства [12].

Логистика снабжения в строительстве представляет собой сложную систему взаимодействий множества контрагентов, включая поставщиков, складское хозяйство и строительные площадки. Информационные технологии переносят данные в управленческую информацию, обеспечивая прозрачность и контроль всех этапов цепочки поставок [13].

Основной принцип MRP – расчёт объёма и сроков поставки материалов на основе актуальных графиков строительства и проектных спецификаций. Такая система обеспечивает сквозное управление материальными потоками – от этапа предварительного планирования до поступления ресурсов на строительную площадку и контроля их использования. В отличие от традиционного складского подхода, MRP ориентирован на сокращение избыточных запасов, снижая логистические расходы и риски замораживания капитала. За счёт алгоритмического анализа сроков выполнения работ и доступности материалов система позволяет прогнозировать и оптимизировать поставки, тем самым предотвращая задержки и простои. Это делает MRP эффективным инструментом для координации строительных процессов и соблюдения производственных сроков [14], разбивает потребность в материалах по плановым временным интервалам, что позволяет синхронизировать поставки с этапами производства. Такой подход не только обеспечивает своевременное завершение работ, но и предотвращает избыточное накопление запасов, тем самым снижая финансовые издержки, связанные с их хранением и управлением [15].

В промышленности внедрение MRP позволяет добиваться комплексных целей: оптимизировать расходы, повысить качество снабжения, обеспечить точность документационного сопровождения и рационально использовать МТР. К ключевым преимуществам систем MRP относится повышение производственной эффективности, достигаемое за счёт стабильного обеспечения стройплощадки необходимыми материалами и исключения задержек в поставках. Кроме того, MRP-системы обеспечивают прозрачный контроль над движением ресурсов на всех этапах – от поступления на склад до включения в состав готовой продукции, что особенно важно для соблюдения сроков и качества в строительной отрасли [16].

Цели и задачи проводимого исследования

Целью настоящего исследования является модернизация экономики-математической модели управления запасами путём интеграции в расчёт принципов системы MRP, что позволит разработать модель прогнозирования загруженности складских площадей на строительной площадке с последующей реализацией методики расчёта

в виде программного решения для оптимизации снабжения строительных объектов МТР. Для достижения поставленной цели требуется выполнить следующие задачи:

- 1. Проанализировать существующие экономико-математические модели управления запасами и системы MRP, выявить их преимущества и недостатки применительно к строительной отрасли;
- 2. Разработать интегрированную модель, объединяющую классические подходы к управлению запасами с принципами MRP, адаптированную для прогнозирования нагрузки на складские площади строительных объектов;
- 3. Спроектировать и реализовать программное обеспечение на основе разработанной модели, позволяющее автоматизировать процесс планирования поставок МТР и оптимизировать использование складских площадей на строительных объектах.

Материалы и методы

Исследование базируется на системном анализе логистических процессов на строительной площадке и экономико-математическом моделировании. Системный анализ включает декомпозицию существующих логистических цепочек в строительных проектах, выявление критических точек в процессе МТС, анализ информационных потоков между участниками строительного процесса. В экономико-математическом моделировании рассматриваются модели управления запасами, относящиеся к разделу моделей оптимального управления. В рамках исследования применяется модифицированная модель экономического размера заказа (EOQ), адаптированная к условиям переменного спроса, характерного для строительных проектов. Данная модификация учитывает неравномерность потребления материалов на различных этапах строительства и позволяет оптимизировать размеры и частоту поставок.

Результаты

В условиях роста сложности строительных проектов и необходимости оптимизации затрат разработанное программное решение представляет собой инновационный инструмент для цифрового планирования и контроля поставок МТР. Система автоматизирует управление цепочкой поставок, обеспечивает точную синхронизацию движения материалов на всех этапах строительства, что особенно критично при параллельном выполнении ра-

бот, для которых потребность в МТР имеет многономенклатурный характер. Это позволяет минимизировать простои техники, сократить задержки поставок и обеспечить полное отслеживание ресурсных потоков, способствуя соблюдению проектных сроков и повышению качества работ.

Информация, формируемая системой MRP, находит применение в различных подразделениях строительной организации. Основными пользователями выступают специалисты по планированию и главный инженер проекта (ГИП), которым необходимо распределять ресурсы между участками и контролировать сроки выполнения строительных процессов. Мастера и начальники участков используют данные MRP для оперативной корректировки графиков и выдачи заданий бригадам. Кроме того, система незаменима для инженеров производственно-технического отдела (ПТО), сотрудников отдела МТС, обеспечивающих своевременные поставки. Специалисты по взаимодействию с заказчиком также используют MRP-данные для уточнения сроков поставок и выполнения ключевых этапов проекта. На рисунке 1 показана схема взаимодействия между главным инженером проекта, отделом МТС и производителем работ [17].

Схема на рисунке 1 иллюстрирует процесс взаимодействия ведущих сторон строительства на примере обеспечения строительного объекта МТР.

Процесс снабжения МТР в строительстве начинается с анализа проектной документации. На её основе отдел ПТО разрабатывает график потребности в материалах, обеспечивая его соответствие календарному плану строительно-монтажных работ. ГИП осуществляет общий контроль за корректностью и полнотой сформированного графика. Далее график направляется в отдел МТС, где проводится его проверка, согласование с текущими складскими остатками и, при необходимости, корректировка заявок на поставку.

Далее заявки согласовываются с производителем работ, который уточняет фактическую потребность на строительной площадке. После согласования отдел МТС проверяет остатки на складе. При недостатке материалов формируется заявка на закупку.

После размещения заказа отдел МТС контролирует сроки и условия поставки. По прибытии материалов на

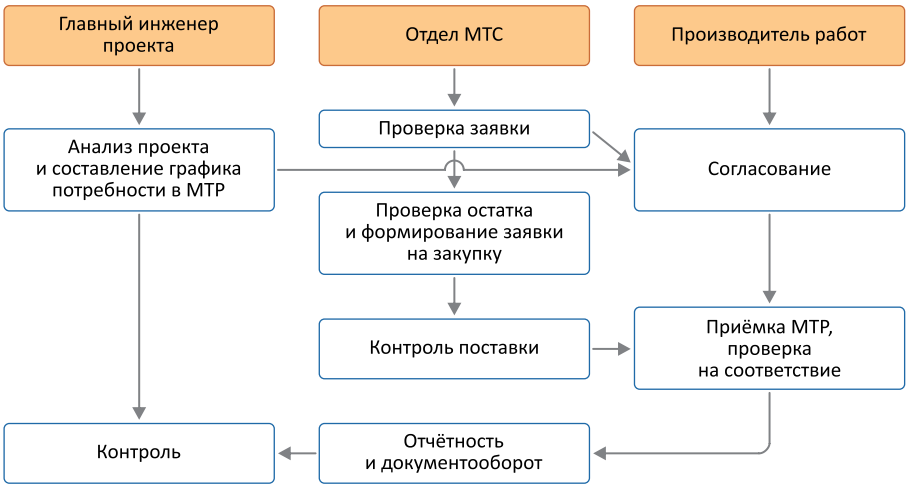


Рис. 1. Схема взаимодействия участников строительного производства в контексте управления материально-техническим обеспечением

Fig. 1. Interaction scheme of construction project participants in the context of material and technical supply management

Параметры модели управления запасами	Параметры системы MRP
Объём заказа	Scheduled receipts (запланированные поступления) – указывает, какое количество материала планируется иметь в заданный период
Гарантийный запас	Lot size (размер лота) – минимальное необходимое количество материала в заказе
Общая потребность ресурса	Gross requirements (чистая потребность) – определяет, сколько необходимо материала или продукции без учёта других данных
Интервал между заказами	Lead time (время (кратное периодам)) – промежуток времени, который необходим для получения материала к заданному периоду

Табл. 1. Сопоставление параметров системы MRP и традиционных моделей управления запасами
Tab. 1. Comparison of MRP system parameters and traditional inventory management models

объект проводятся их приёмка и проверка на соответствие заявке и техническим требованиям.

Затем оформляется документация: накладные, акты и учёт в системе. Все данные фиксируются и передаются для отчётности. Финальный контроль за соблюдением графика и полной снабжения осуществляет главный инженер проекта.

Система планирования потребностей в материалах по своей концепции и принципам функционирования тесно связана с экономико-математическим моделированием, поскольку обе опираются на формализованные алгоритмы и количественные расчёты, направленные на оптимизацию логистических и производственных процессов. Эти подходы объединяет стремление к минимизации издержек и рационализации ресурсных потоков на основе точных данных и прогнозных моделей.

Математическая модель экономического объекта – формализованное описание, объединяющее систему уравнений, неравенств, логических импликаций и графовых структур. Такая модель обеспечивает анализ динамики, прогнозирование развития и поиск оптимальных решений при заданных ограничениях. Для каждого типа запасов (сырьевых, технологических, готовой продукции) предлагается применять различные математические модели, их совместное использование формирует интегрированную систему управления запасами промышленного предприятия [18].

Одним из распространённых инструментов управления запасами является модель оптимального заказа (формула Уилсона, EOQ). Несмотря на простоту расчётов, базовая версия формулы практически не применяется в строительстве, поскольку не учитывает реальные условия: нестабильность спроса, неравномерность поставок и переменные затраты на хранение. Для практического применения в строительной отрасли модель необходимо адаптировать с учётом дополнительных факторов, позволяющих более точно прогнозировать расходы и оптимизировать запасы материалов [19].

Специфика отдельных моделей управления запасами заключается в применении прогнозных оценок интенсивности спроса. Каждая такая модель имеет собственный

Уровень	Период (t)		
	t ₀	t ₁	t ₂
Объём расхода МТР в производстве	–	a ₁	a ₂
Запланированные поступления МТР	–	b ₁	b ₂
Текущий запас	c ₀	c ₁	c ₂
Подготовительный запас	–	x ₁	x ₂

Табл. 2. Планирование потребности МТР за период (t)
Tab. 2. Planning of material and technical resource requirements for the period (t)

набор предположений и критериев для определения прогнозируемого спроса. Однако для повышения точности прогнозов и адекватного отражения влияния внешних факторов, таких как сезонные изменения, рекомендуется использовать модели, способные учитывать данные колебания. Примером такой модели является метод Хольта–Уинтерса, позволяющий корректировать прогноз с учётом сезонности и циклических трендов спроса [18].

Метод Хольта–Уинтерса позволяет осуществлять среднесрочные и долгосрочные прогнозы. Это достигается благодаря способности модели выявлять локальные тенденции в данных за периоды, непосредственно предшествующие моменту прогнозирования, и переносить обнаруженные закономерности на последующие временные интервалы. При реализации данного метода важно последовательно рассчитывать сглаженные показатели исходного временного ряда и величину тренда, аккумулированную на каждом этапе расчёта, что обеспечивает высокую точность и надёжность полученных прогнозов [20].

При планировании снабжения с постоянным размером заказа в разрабатываемой модели регулируется критический уровень запасов, который корректируется на величину гарантийного резерва при каждой поставке. Если возникает задержка поставки, критический уровень запасов увеличивается на величину гарантийного резерва или на размер его недостатка, обеспечивая пополнение склада до максимального уровня даже при продолжительных задержках [21].

Система MRP интегрируется в систему управления запасами на строительной площадке через схожие параметры, которыми обладают модели управления запасами, что отражено в таблице 1.

Так, параметр объёма заказа в классической модели соответствует запланированным поступлениям (scheduled receipts) в системе MRP – оба отражают ожидаемый объём поставок в определённый период. Гарантийный запас и размер лота (lot size) служат аналогичными индикаторами минимального количества, подлежащего заказу. Показатели общей потребности и чистой потребности (gross requirements) выражают объём необходимого ресурса исходя из производственного плана. Интервал между заказами соотносится с понятием времени выполнения (lead time), обозначающим период, необходимый для поступления заказа. Вместе с тем, в модель включаются текущий и подготовительный запасы, которые являются основой определения стратегии управления снабжением.

Таким образом, параметры системы MRP концептуально отражают структуру традиционного управления запасами, адаптируя её к условиям детального периодического планирования и позволяя обеспечить более высокую точность в расчётах материальной потребности.

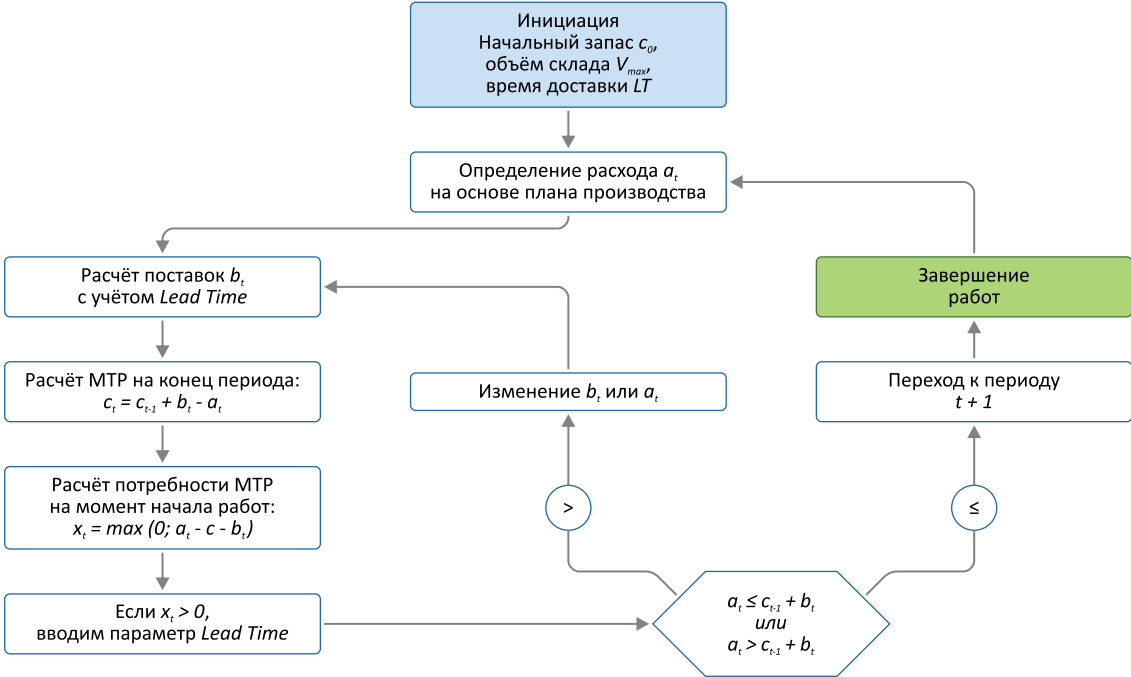


Рис. 2. Алгоритм методики расчёта оптимального объёма поставок с использованием принципа MRP
Fig. 2. Algorithm of the methodology for calculating the optimal supply volume using the MRP principle

Алгоритм планирования МТР в производственных процессах, представленный в таблице 2, охватывает ключевые показатели, необходимые для обеспечения бесперебойного функционирования системы поставок. Рассматриваемые параметры включают объём расхода МТР, запланированные поступления, наличие на приобъектных складах и необходимую потребность на начало работ с учётом времени доставки.

Объём расхода МТР – a_t , представляет собой плановое потребление конкретного ресурса в период времени – t , определяемое производственным планом.

Запланированные поступления МТР – b_t , характеризуют объёмы ресурсов, которые, согласно производственному плану, поступают на объект в период времени t .

Текущий запас на строительной площадке – c_t , на конец периода времени t рассчитывается по рекуррентной формуле 1:

$$c_t = c_{t-1} + b_t - a_t, \tag{1}$$

где c_{t-1} – остаток ресурсов на начало периода;
 b_t – запланированные поступления в текущем периоде;
 a_t – объём расхода МТР в текущем периоде.

Начальное значение c_0 , представляющее исходный запас МТР, задаётся в начале производственного цикла. Формула, учитывающая динамику поступлений и расхода, позволяет оценить фактическое наличие ресурсов, необходимых для минимизации рисков возникновения. Подготовительный запас на начало периода t определяется по формуле 2:

$$x_t = \max(0; a_t - (c_{t-1} + b_t)). \tag{2}$$

Функция максимума, выбирающая наибольшее значение, отражает либо отсутствие необходимости в заказе ($x_t = 0$, если $a_t \leq c_{t-1} + b_t$), либо объём дефицита ($x_t > 0$, если $a_t > c_{t-1} + b_t$), требующий дополнительного заказа, что реализовано с помощью добавления условного оператора.

Фактор времени доставки – Lead Time (LT), представляющий период между оформлением заказа и поступле-

нием МТР, учитывается при наличии дефицита материала.

Блок-схема методики расчёта, представленная на рисунке 2, отражает цикличность процесса определения оптимальных объёмов поставки и оптимальных объёмов хранения, таким образом, мы можем использовать предлагаемую методику расчёта на протяжении всего строительного процесса.

Если рассматривать предлагаемое авторами программное решение на основе разработанной методики расчёта в контексте многоуровневой логистической цепи, ключевой целью которой является обеспечение материалами рабочих мест, данная программа обеспечивает сквозную оптимизацию снабжения на двух уровнях – поставки на рабочие места и поставки на строительные объекты.

На первом уровне система анализирует данные календарно-сетевого графика (КСГ), импортируемые в формате XML, рассчитывая суточную потребность в материалах с учётом их расхода согласно объёму работ. На втором уровне, когда поставка осуществляется от перевалочного склада до строительных площадок, программа автоматизирует формирование заявок на пополнение запасов, учитывая текущее наличие материала, плановый расход и время доставки.

В программе реализована возможность планирования по точкам потребления. На первом уровне планирования пунктом потребления материала является захватка, на втором уровне в качестве точки потребления выступают активные строительные площадки. Для ввода наименований основных потребителей и вида материала в программе предусмотрен ручной ввод, позволяющий планировать и выгружать данные о поставках технологических комплектов согласно выполняемому этапу СМР (на втором уровне планирования).

На рисунке 3 продемонстрирован пример автоматического расчёта ежедневных оптимальных объёмов поставки с визуализацией прогнозируемого объёма хранения без возникновения дефицита.

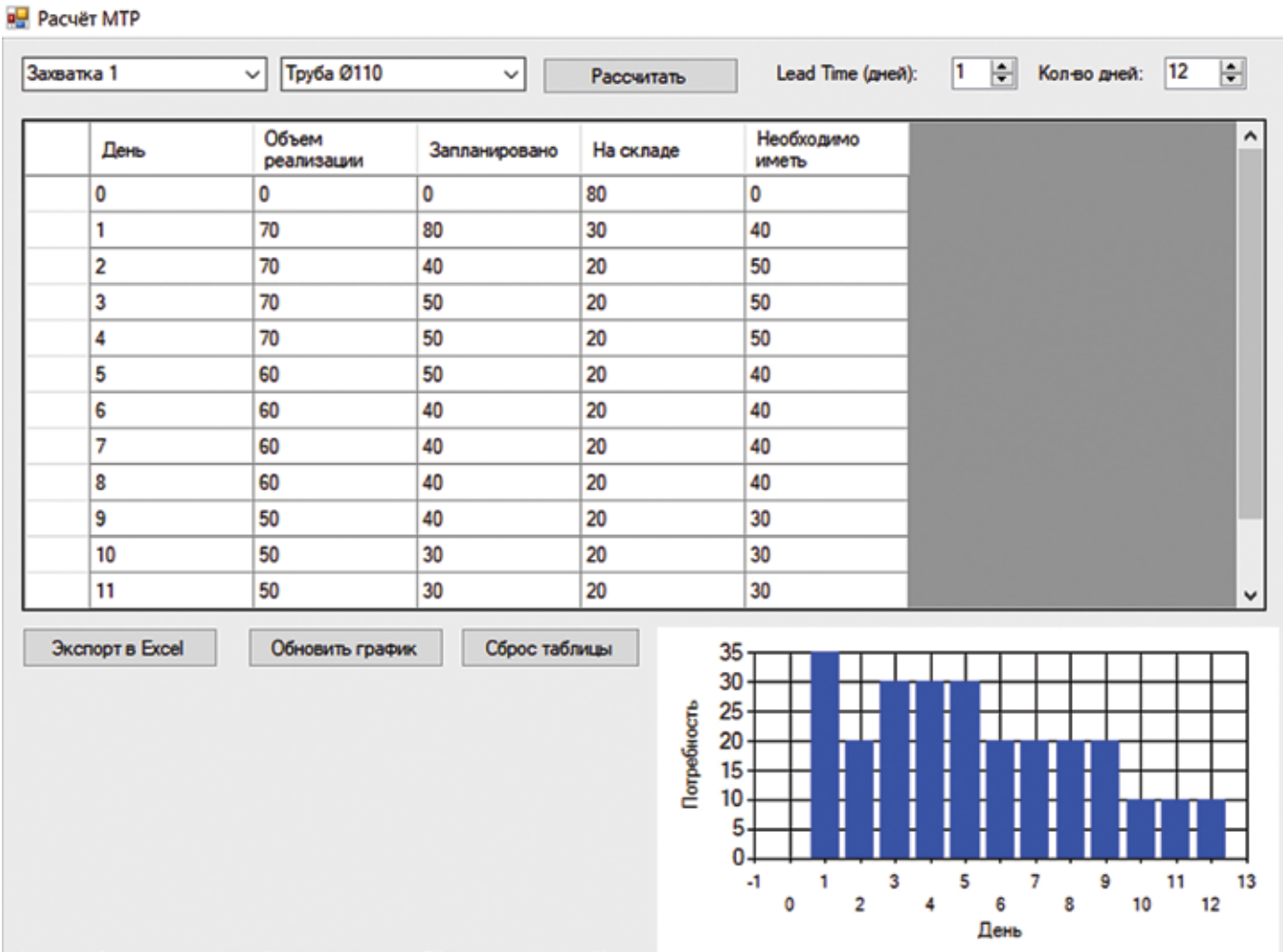


Рис. 3. Интерфейс программы с визуализацией прогнозируемого объёма хранения
Fig. 3. Program interface with visualization of the forecasted storage volume

Объём реализации в программе выступает в роли точного расхода материала. Данные поступают из данных КСГ, импортируемого в машиночитаемом формате.

Фактический остаток МТР на складе в начале каждого периода рассчитывается по формуле страхового запаса – это резервный объём, который необходимо иметь помимо расчётного количества, чтобы обеспечить непрерывность производства при возникновении задержек поставок:

$$CЗ = R_d \times T_z,$$
 (3)

где R_d – среднесуточный расход МТР;
 T_z – ожидаемое время задержки поставок (в днях).
«Запланировано» и «необходимо иметь» рассчитываются программой и отображают запланированные поступления и сколько необходимо заказать ресурсов с учётом времени доставки до момента начала работ.

Разработка программы выполнена на языке программирования C# на платформе .NET Framework. Система поддерживает импорт и экспорт данных в формате XML, что обеспечивает взаимодействие с учётными и складскими платформами, обеспечивая гармоничную стыковку с цифровой инфраструктурой предприятия без дорогостоящей адаптации.

Заключение

В ходе исследования был проведён анализ существующих экономико-математических моделей управления запасами, включая классическую модель EOQ и систему MRP. Выявлено, что традиционные подходы, широко

применяемые в промышленности, обладают ограниченной применимостью в строительной отрасли из-за высокой изменчивости спроса и особенности выполнения СМР. Система MRP, в свою очередь, предоставляет гибкий и адаптивный механизм планирования, но требует адаптации к условиям организации логистики на строительной площадке. Эти наблюдения легли в основу построения более универсального подхода, сочетающего преимущества обоих методов.

Разработана интегрированная методика расчёта, адаптированная под нужды строительных объектов. В основе модели лежит расчёт чистой потребности с учётом времени доставки, страхового запаса и графика выполнения СМР по захваткам и уровням. Это позволило создать инструмент для прогнозирования нагрузки на складские площади, минимизации избыточных запасов и устранения дефицита, что особенно актуально для работ, выполняемых поточным методом.

Разработано программное обеспечение, воплощающее принципы разработанной модели. Программа автоматизирует планирование поставок МТР, обеспечивает визуализацию складской нагрузки, формирует аналитические отчёты в машиночитаемом формате. Разработка продемонстрировала высокую адаптивность, масштабируемость и потенциал интеграции с другими IT-системами, что делает её эффективным решением для цифровизации логистических процессов в строительной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Malik, H. Inventory management in construction industry / H. Malik, P. K. Sharma // IOSR Journal of Engineering. – 2022. – Vol. 12, No. 5. – Pp. 26–33.
2. Закиева, Л. Б. Философия JIT в современных системах управленческого учёта затрат и результатов / Л. Б. Закиева, А. Ю. Соколов. – DOI 10.22394/1726-1139-2019-10-68-80 // Управленческое консультирование. – 2019. – № 10 (130). – С. 68–80.
3. Butov, A. A. Stochastic models of simple controlled systems just-in-time / A. A. Butov, A. A. Kovalenko. – DOI https://doi.org/10.14498/vsgtu1633 // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. – 2018. – Т. 22, № 3. – С. 518–531.
4. Рябухина, Е. А. Применение ABC-анализа для решения инженерных задач планирования и прогнозирования / Е. А. Рябухина, Т. А. Певцова, О. А. Гущина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 11-1 (30). – С. 19–22.
5. Салманов, Т. Э. Использование модели оптимального размера заказа в современной логистике / Т. Э. Салманов // п-Economy. – 2012. – № 5 (156). – С. 159–162.
6. Чуваев, А. В. Совершенствование модели EOQ и расширение её возможностей для управления материальными запасами предприятий в различных условиях / А. В. Чуваев, О. Л. Лямзин // Вестник НГУЭУ. – 2014. – № 3. – С. 299–305.
7. Оптимизационный подход к стохастической задаче управления запасами / М. Эрдэнэбат, О. В. Кузьмин, Н. Тунгалаг, Р. Энхбат. – DOI 10.26731/1813-9108.2017.3(55).106-110 // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 3 (55). – С. 106–110.
8. Optimization of Construction Material Inventory Using Material Requirement Planning / H. A. Rani, T. Syammaun, F. Rachman, J. Amin. – DOI 10.26618/j-linears.v8i1.17116 // Jurnal LINEARS. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 1–7.
9. Капустина, Ю. А. Способы формирования единого информационного пространства на предприятиях строительного комплекса / Ю. А. Капустина // Экономика нового мира. – 2016. – № 4. – С. 87–96.
10. Музалев, С. В. Внедрение ERP-системы как важный этап развития предприятия / С. В. Музалев, Е. С. Жариков // Гуманитарии Балкански изследвания. – 2021. – Т. 5, № 2 (12). – С. 62–68.
11. Бабенко, И. В. Интегрированное управление запасами в современной цифровой среде / И. В. Бабенко, Н. Г. Плетнева //

REFERENCES

1. Malik, H., Inventory management in construction industry / H. Malik, P. K. Sharma, // IOSR Journal of Engineering. – 2022. – Vol. 12, No. 5. – Pp. 26–33.
2. Zakieva, L. B. Filosofiya JIT v sovremennykh sistemakh upravlencheskogo ucheta zatrat i rezultatov [Philosophy of JIT in modern cost and performance management systems] / L. B. Zakieva, A. Yu. Sokolov. – DOI: 10.22394/1726-1139-2019-10-68-80 // Upravlencheskoe konsul'tirovanie [Managerial Consulting]. – 2019. – No. 10 (130). – Pp. 68–80.
3. Butov, A. A. Stochastic models of simple controlled systems just-in-time / A. A. Butov, A. A. Kovalenko. – DOI https://doi.org/10.14498/vsgtu1633 // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki [Bulletin of Samara State Technical University. Series: Physical and Mathematical Sciences]. – 2018. – Vol. 22, No. 3. – Pp. 518–531.
4. Ryabukhina, E. A. Primenenie ABC-analiza dlya resheniya inzhenernykh zadach planirovaniya i prognozirovaniya [Application of ABC analysis to engineering planning and forecasting] / E. A. Ryabukhina, T. A. Pevtsova, O. A. Gushchina // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. – 2014. – No. 11-1 (30). – Pp. 19–22.

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 87–100.
12. Васильева, Н. В. Проблемные аспекты цифровизации строительной отрасли / Н. В. Васильева, И. А. Бачуринская // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2018. – № 7. – С. 39–46.
13. Лозинская, Д. Е. Новые технологии и диджитал-решения в организации снабжения транспортно-логистической компании / Д. Е. Лозинская // StudNet. – 2021. – Т. 4, № 5.
14. Билым, А. Д. Сравнение систем материально-технического обеспечения строительной организации / А. Д. Билым, В. К. Нефедова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 6 (102). – С. 317–325.
15. Андреасян Г. М., Планирование материальных потребностей (MRP) / Г. М. Андреасян, М. Е. Федоров // Экономика и социум. – 2021. – № 4-1 (83). – С. 612–616.
16. Тагиров, М. М. Использование системы MRP для планирования потребности в материалах / М. М. Тагиров // Научное обозрение: актуальные вопросы теории и практики : Сборник статей III Международной научно-практической конференции, состоявшейся 27 декабря 2022 г. в г. Пенза ; отв. ред. Г. Ю. Гуляев. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2022. – Ч. 1. – С. 32–35.
17. Горбанева, Е. П. Организация, планирование и управление в строительстве : учебное пособие / Е. П. Горбанева ; Воронежский ГАСУ. – Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2016. – 117 с.
18. Шевченко, Н. Ю. Управление запасами угледобывающего предприятия на основе экономико-математического моделирования / Н. Ю. Шевченко, А. Н. Астахова // Экономический вестник Донбасса. – 2016. – № 2 (44). – С. 12–15.
19. Оптимизационный подход к стохастической задаче управления запасами / М. Эрдэнэбат, О. В. Кузьмин, Н. Тунгалаг, Р. Энхбат // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 3 (55). – С. 106–110.
20. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов : учебное пособие / Ю. П. Лукашин. – Москва : Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
21. Агеева, Я. Д. Совершенствование систем материально-технического снабжения на строительной площадке / Я. Д. Агеева, А. В. Иконникова, А. А. Лапидус. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-772-4-58-74 // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 4 (772). – С. 58–74.

5. Salmanov, T. E. Ispol'zovanie modeli optimal'nogo razmera zakaza v sovremennoj logistike [Use of the EOQ model in modern logistics] / T. E. Salmanov // п-Economy. – 2012. – No. 5 (156). – Pp. 159–162.
6. Chuvaev, A. V. Sovershenstvovanie modeli EOQ i rasshirenie eyo vozmozhnostey dlya upravleniya material'nyimi zapasami predpriyatij v razlichnykh usloviyakh [Improving the EOQ model and expanding its capabilities for managing material reserves of enterprises in various conditions] / A. V. Chuvaev, O. L. Lyamzin // Vestnik NGUEU [Bulletin of the National Research University of Economics]. – 2014. – No. 3. – Pp. 299–305.
7. Optimizatsionnyy podkhod k stokhasticheskoy zadache upravleniya zapasami [Optimization approach to the stochastic inventory control problem] / M. Erdenebat, O. V. Kuzmin, N. Tungagalag, R. Enkhbat. – DOI 10.26731/1813-9108.2017.3(55).106-110 // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modelling]. – 2017. – No. 3 (55). – Pp. 106–110.
8. Optimization of Construction Material Inventory Using Material Requirement Planning / H. A. Rani, T. Syammaun, F. Rachman, J. Amin. – DOI 10.26618/j-linears.v8i1.17116 // Jurnal LINEARS. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 1–7.
9. Kapustina, Yu. A. Sposoby formirovaniya edinogo informatsion-

nogo prostranstva na predpriyatiyakh stroitel'nogo kompleksa [Methods for forming a unified information space in construction enterprises] / Yu. A. Kapustina // *Ehkonomika novogo mira* [Economy of the New World]. – 2016. – No. 4. – Pp. 87–96.

10. Muzalev, S. V. Vnedrenie ERP-sistemy kak vazhnyy etap razvitiya predpriyatiya [Implementation of ERP system as a key development stage of an enterprise] / S. V. Muzalev, E. S. Zharikov // *Khumanitarni Balkanski izsledvaniya* [Humanitarian Balkan Studies]. – 2021. – Vol. 5, No. 2 (12). – Pp. 62–68.

11. Babenko, I. V. Integrirovannoe upravlenie zapasami v sovremennoj tsifrovoj srede [Integrated inventory management in a modern digital environment] / I. V. Babenko, N. G. Pletneva // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ehkonomika. Sotsiologiya. Menedzhment* [Proceedings of the Southwest State University. Series: Economics. Sociology. Management]. – 2020. – Vol. 10, No. 4. – Pp. 87–100.

12. Vasileva, N. V. Problemnye aspekty tsifrovizatsii stroitel'noj otrasli [Problematic aspects of digitalization in the construction industry] / N. V. Vasileva, I. A. Bachurinskaya // *Vestnik Altaiskoj akademii ehkonomiki i prava* [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. – 2018. – No. 7. – Pp. 39–46.

13. Lozinskaya, D. E. Novye tekhnologii i didzhital-resheniya v organizatsii snabzheniya transportno-logisticheskoy kompanii [New technologies and digital solutions in supply management of a transport and logistics company] / D. E. Lozinskaya // *StudNet*. – 2021. – Vol. 4, No. 5.

14. Bilym, A. D. Sravnenie sistem material'no-tekhnicheskogo obespecheniya stroitel'noj organizatsii [Comparison of material and technical supply systems of a construction organization] / A. D. Bilym, V. K. Nefedova // *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. – 2023. – No. 6 (102). – Pp. 317–325.

15. Andreasyan, G. M. Planirovanie material'nykh potrebnostej (MRP) [Material requirements planning (MRP)] / G. M. Andreasyan, M. E. Fedorov // *Ehkonomika i sotsium* [Economics and Society]. – 2021. – No. 4-1 (83). – Pp. 612–616.

16. Tagirov, M. M. Ispol'zovanie sistemy MRP dlya planirovaniya potrebnosti v materialakh [Use of the MRP system for material requirements planning] / M. M. Tagirov // *Nauchnoye obozrenie: aktual'nye voprosy teorii i praktiki* : Sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, sostoyavshejsya 27 dekabrya 2022 g. v g. Penza ; otv. red. G. Y. Gulyaev [Scientific Review: Current Issues of Theory and Practice : Collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference, held on December 27, 2022 in Penza ; ed. by G. Y. Gulyaev]. – Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2022. – Part 1. – Pp. 32–35.

17. Gorbaneva, E. P. Organizatsiya, planirovanie i upravlenie v stroitel'stve : uchebnoe posobie [Organization, planning and management in construction : textbook] / E. P. Gorbaneva ; Voronezhskij GASU. – Voronezh : Voronezh GASU, 2016. – 117 p.

18. Shevchenko, N. Yu. Upravlenie zapasami ugledobyvayushchego predpriyatiya na osnove ehkonomiko-matematicheskikh modelej [Inventory management of a coal mining enterprise based on economic and mathematical models] / N. Yu. Shevchenko, A. N. Astakhova // *Ehkonomicheskij vestnik Donbassa* [Economic Bulletin of Donbass]. – 2016. – No. 2 (44). – Pp. 12–15.

19. Optimizatsionnyy podkhod k stokhasticheskoy zadache upravleniya zapasami [Optimization approach to the stochastic inventory control problem] / M. Erdenebat, O. V. Kuzmin, N. Tungalag, R. Enkhbat // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modelling]. – 2017. – No. 3 (55). – Pp. 106–110.

20. Lukashin, Yu. P. Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov : uchebnoe posobie [Adaptive methods of short-term time series forecasting : textbook] / Yu. P. Lukashin. – Moscow : Finansy i statistika, 2003. – 416 p.

21. Ageeva, Ya. D. Sovershenstvovanie sistem material'no-tekhnicheskogo snabzheniya na stroitel'noj ploshhadke [Improvement of logistics systems at a construction site] / Ya. D. Ageeva, A. V. Ikonnikova, A. A. Lapidus. – DOI 10.32683/0536-1052-2023-772-4-58-74 // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. – 2023. – No. 4 (772). – Pp. 58–74.

УДК 624.042 **DOI: 10.54950/26585340_2025_3_10**

Обоснование эксплуатационных параметров надёжности линий электропередач на основе современных вероятностных методов оценки надёжности строительных конструкций

Justification of Operational Parameters of Reliability of Power Transmission Lines Based on Modern Probabilistic Methods of Assessing the Reliability of Building Structures

Сабитов Линар Салихзанович
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, sabitov-kgasu@mail.ru

Sabitov Linar Salikhzanovich
Doctor of Technical Sciences, 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, sabitov-kgasu@mail.ru

Гарькин Игорь Николаевич
Кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Архитектура, реставрация и дизайн»,
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН),
Россия, 117198, Москва, улица Миклухо-Маклая, 6, igor_garkin@mail.ru

Garkin Igor Nikolaevich
Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department of Architecture, Restoration and Design, Patrice Lumumba
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN),
Russia, 117198, Moscow, ulitsa Miklukho-Maklaya, 6, igor_garkin@mail.ru

Закирова Марина Анатольевна
Заведующая кафедрой «Жилищно-коммунальный комплекс»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, zakirovaMA@mgsu.ru

Zakirova Marina Anatolyevna
Head of the Department of Housing and Public Utilities, National Research Moscow State University of Civil Engineering
(NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, zakirovaMA@mgsu.ru

Хусаинов Ринат Дамирович
Аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ),
Россия, 420066, Казань, улица Красносельская, 51, kgeu@kgeu.ru

Khusainov Rinat Damirovich
Graduate student of Kazan State Energy University (KGEU),
Russia, 420066, Kazan, ulitsa Krasnoselskaya, 51, kgeu@kgeu.ru

Аннотация. В данной работе представлен подробный анализ современных методологических подходов к повышению эксплуатационной надёжности линий электропередач (ЛЭП), основанных на использовании вероятностных методов оценки прочности и долговечности строительных конструкций. Произведён комплексный обзор актуального состояния исследований и практических решений в области надёжности ЛЭП, выявлены и систематизированы основные внутренние и внешние факторы, определяющие долговечность, устойчивость к отказам и экономичность эксплуатации как опор, так и проводов воздушных линий. Особое внимание уделяется внедрению и адаптации методов вероятностного проектирования, которые позволяют объективно учитывать широкий спектр разнообразных эксплуатационных воздействий – ветровых, гололёдных, температурных, а также учитывать изменчивость физических и механических характеристик материалов, колебания и неопределённости эксплуатационных и климатических условий в регионах функционирования ЛЭП.

В ходе исследования проведена разработка и обоснование ключевых эксплуатационных параметров, оказывающих определяющее влияние на надёжность ЛЭП, включая коэффициенты надёжности по нагрузкам и материалам, интервалы диагностики и технического обслуживания, а также критерии безопасной эксплуатации и отказоустойчивости. В работе приведены результаты количественной оценки вероятности отказа типовой металлической опоры при различных сочетаниях неблагоприятных

ятных нагрузок, что позволило выявить наиболее критичные и уязвимые режимы эксплуатационного воздействия. Выделены особенности проявления рисков в зависимости от климатической зоны, что подчёркивает важность регионализированного подхода к обеспечению надёжности ЛЭП.

Полученные результаты анализа подтверждают высокую эффективность интеграции вероятностных методов оценки надёжности в нормативно-техническую базу проектирования, эксплуатации и обслуживания воздушных линий, что открывает новые возможности для оптимизации эксплуатационных расходов, продления ресурса конструкций и повышения общего уровня энергетической безопасности. На основании проведённого исследования сформулирован ряд практических рекомендаций по совершенствованию действующих стандартов, процедур диагностики и оценки надёжности ЛЭП, с учётом специфики эксплуатации в различных природно-климатических условиях России. В заключении подчёркивается, что дальнейшее развитие и внедрение вероятностных подходов призвано обеспечить более высокий уровень надёжности, экономической эффективности и безопасности отечественных энергосистем.

Ключевые слова: линии электропередач; надёжность; строительные конструкции; вероятностные методы; коэффициент надёжности; эксплуатационные параметры; оценка риска; отказоустойчивость; ветровая нагрузка; интервалы обслуживания; энергетическая безопасность.

Abstract. This paper presents a detailed analysis of modern methodological approaches to improving the operational reliability of power transmission lines (PTL), based on the use of probabilistic methods for assessing the strength and durability of building structures. A comprehensive review of the current state of research and practical solutions in the field of PTL reliability is provided, and the main internal and external factors that determine the durability, resistance to failures and cost-effectiveness of operation of both supports and wires of overhead lines are identified and systematized. Particular attention is paid to the implementation and adaptation of probabilistic design methods that allow for an objective consideration of a wide range of various operational impacts - wind, ice, temperature, as well as the variability of the physical and mechanical characteristics of materials, fluctuations and uncertainties in the operational and climatic conditions in the regions of operation of power lines.

The study included the development and substantiation of key operational parameters that have a decisive impact on the reliability of power transmission lines, including reliability factors for loads and materials, diagnostic and maintenance intervals, as well as safe operation and fault tolerance criteria. The paper presents the results of a quantitative assessment of the probability of failure of a typical metal support under various combinations of

Введение
Современные работы [1–3], посвящённые совершенствованию методов расчёта конструкций, свидетель-

adverse loads, which made it possible to identify the most critical and vulnerable modes of operational impact. The features of risk manifestation depending on the climatic zone are highlighted, which emphasizes the importance of a regionalized approach to ensuring the reliability of power transmission lines.

The obtained analysis results confirm the high efficiency of integrating probabilistic reliability assessment methods into the regulatory framework for the design, operation and maintenance of overhead lines, which opens up new opportunities for optimizing operating costs, extending the service life of structures and increasing the overall level of energy security. Based on the study, a number of practical recommendations were formulated to improve the current standards, diagnostic procedures and reliability assessment of power transmission lines, taking into account the specifics of operation in various natural and climatic conditions of Russia. In conclusion, it is emphasized that further development and implementation of probabilistic approaches is intended to ensure a higher level of reliability, economic efficiency and safety of domestic energy systems.

Keywords: power transmission lines; reliability; building structures; probabilistic methods; reliability coefficient; operating parameters; risk assessment; fault tolerance; wind load; maintenance intervals; energy security.

ствуют о невозможности их развития без широкого привлечения вероятностных методов расчёта надёжности конструкций, позволяющих связать основные расчётные

Класс ответственности сооружений	Минимальное значение β при базовом периоде	
	1 год	50 лет
КС-3	5,2	4,3
КС-2	4,7	3,8
КС-1	4,2	3,3

Табл. 1. Рекомендованные минимальные значения индекса надёжности β (для предельных состояний по несущей способности)

Tab. 1. Recommended minimum values of the reliability index β (for ultimate limit states)

параметры и коэффициенты метода расчёта с фактором времени.

В работе [1] отмечается, что метод расчёта конструкций по предельному состоянию относится к самому низкому – первому – уровню оценки безопасности конструкций, а вероятностный метод приближённой оценки надёжности с использованием характеристики безопасности β относится ко второму уровню оценки безопасности конструкций. При этом легко сохраняются основные принципы расчёта конструкций по предельным состояниям.

Концепция индекса надёжности β нашла отражение в европейских нормах (EN 1990), в российской нормативной документации она, например, приведена в методике оценки остаточного ресурса несущих конструкций сооружений [4]. В таблице 1, взятая из методики оценки остаточного ресурса несущих конструкций сооружений [4], приведены значения индексов надёжности, привязанные к классам ответственности сооружений и срокам эксплуатации.

Обсуждение

Рассмотрим возможность использования индекса надёжности β для обоснования параметров эксплуатационной надёжности ЛЭП. При этом сооружение ЛЭП со стальными опорами можно отнести к классу КС-2 с планируемым сроком эксплуатации 50 лет. В РД 34.20.504-94 устанавливается предельно допустимый уровень коррозионного износа стальных опор ЛЭП и их оттяжек равный величине 20 %.

Определим параметр предельно допустимого уровня коррозионного износа как параметра эксплуатационной надёжности с использованием индекса надёжности β .

Для решётчатых конструкций опор ЛЭП наиболее нагруженными элементами, определяющими их надёжность и несущую способность, являются пояса опор и горизонтальных траверс. Данные элементы также, как правило, наиболее подвержены коррозионному износу в узлах их опирания на фундаменты опор [5; 6].

Введём понятие функции неразрушимости S^- (1), по изменчивости которой можно оценить надёжность опор ЛЭП:

$$S^- = R^- - F^-, \quad (1)$$

где R^- и F^- – случайные величины несущей способности и напряжений от нагрузок на опоры, имеющие одинаковые размерности.

Основными вероятностными характеристиками этой функции являются математическое ожидание $m_s = m_R - m_F$ и дисперсия $s_s^2 = S_R^2 + S_F^2$ (при отсутствии корреляционной связи между нагрузкой и несущей способностью). Плотность распределения случайной функции S^- представлена на рисунке 1.

Величина β при распределении исходных данных по нормальному закону определяется по формуле (2):

$$\beta = \frac{m_s}{s_s} = \frac{m_R - m_F}{\sqrt{S_R^2 + S_F^2}} \quad (2)$$

где S_F^2 и S_R^2 – дисперсии напряжений от нагрузок и несущей способности;

$V_F = s_F / m_F$ и $V_R = s_R / m_R$ – соответствующие коэффициенты вариации.

Вероятность отказа (риск) или вероятность отрицательного значения резерва прочности S^- при известном значении β определяется из формулы (3):

$$q_F = P(S^- < 0) = 1 - \Phi(\beta), \quad (3)$$

где $\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$ – интеграл вероятности,

или функция Лапласа переменной $u = (S^- - m_s) / s_s$, соответствующей стандартной функции $\phi(u)$.

С учётом свойства функции $\phi^*(u)$ можно записать (4):

$$q_F = P(S^- < 0) = 0,5 - \Phi^*(\beta). \quad (4)$$

Вероятность безотказной работы, или надёжности, конструкции $P_R = 1 - q_F$.

Статистические параметры стали, используемой для опор ЛЭП, хорошо известны и приведены в различных источниках. Например, сталь ВСтЗсп имеет параметры $m_R = 2990 \text{ кг/см}^2$, а наибольшее значение $v_R = 0,08$.

Напряжения в конструкциях опор ЛЭП можно представить как реакцию на сумму случайных нагрузок, имеющих различные законы распределения, связанные с различными режимами нагружений. Например, монтажный режим нагружения опор можно рассматривать как постоянное нагружение, определяющееся тяжением проводов, устанавливаемых в процессе монтажа, и собственными весами шин, проводов и конструкций.

Нормальный режим нагружения опор можно рассматривать как сумму ветровой нагрузки и постоянной нагрузки или как сумму постоянной, небольшой доли ветровой и гололёдной нагрузки.

Сравнение значений величин нагрузок показывает, что с учётом значительной доли постоянной нагрузки (монтажный режим) суммарная нагрузка будет иметь распределение, максимально близкое к нормальному закону распределения. Нормальный режим с нагружениями от постоянной нагрузки и преобладающей по величине го-

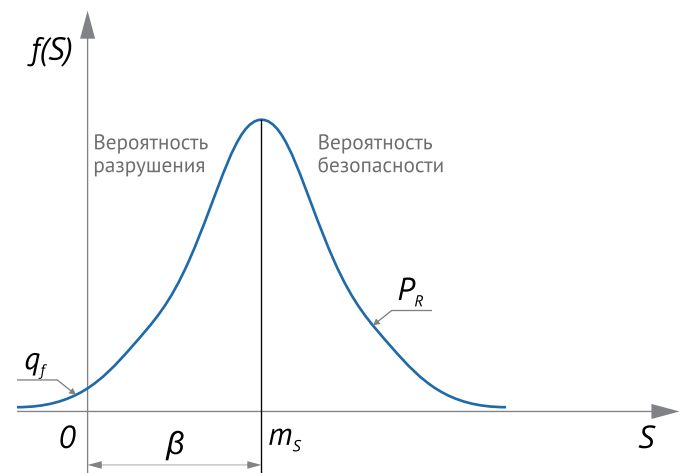


Рис. 1. Графическое представление характеристики безопасности β

Fig. 1. Graphical representation of the safety characteristic β

лолёдной нагрузки – в первом приближении суммарную нагрузку – тоже можно рассмотреть как нагрузку, описываемую нормальным законом распределения.

Для нагрузок, подчиняющихся нормальному закону распределения, математические ожидания принимаются равными нормативным значениям, а среднеквадратические отклонения принимаются равными величине (5):

$$s_F = m_F (Y_f - 1) / 2, \quad (5)$$

где m_F – математическое ожидание значения напряжений от нормативной нагрузки, где Y_f – коэффициент надёжности для рассматриваемой нагрузки.

Для основных нагрузок на опоры ЛЭП – от тяжения проводов, гололёдной нагрузки – $Y_f = 1,3$ по ПУЭ-7. Тогда $s_F = m_F (Y_f - 1) / 2 = 0,15 m_F$.

Между индексом надёжности и площадью пояса решётчатой опоры ЛЭП можно установить следующую зависимость (6):

$$\beta = \frac{m_s}{s_s} = \frac{m_R - m_F}{\sqrt{S_R^2 + S_F^2}} = \frac{b_1 - b_2}{A}, \quad (6)$$

где $b_1 = m_R / s_s$, A – сечение пояса опоры, $b_2 = N / s_s$, N – максимальное усилие сжатия в поясе опоры портала, зависящие от величины нормативных нагрузок в рассматриваемом режиме нагружения.

Предположим, что площадь поясов опор ЛЭП для индекса надёжности $\beta = 3,8$ соответствует значению минимально допустимой площади сечений поясов опор к концу срока эксплуатации, а для индекса $\beta = 4,7$ – значению площади сечений поясов в период начала эксплуатации, т. е. первоначальному сечению. Тогда допустимый коррозионный износ конструкций шинных порталов ЛЭП, по данным таблицы 1, можно оценить следующей величиной:

$$\Delta = (A (\text{при } \beta = 3,8) - A (\text{при } \beta = 4,7)) / A (\text{при } \beta = 4,7) \times 100 \%. \quad (7)$$

По данным РД 34.20.504-94 (29), допустимый коррозионный износ конструкций ЛЭП не должен превышать 20 %.

Так как площадь пояса решётчатых конструкций опор может быть записана в виде функции $A = b_2 / (b_1 - \beta)$, то видно, что величина допустимого коррозионного износа конструкций ЛЭП может быть оценена следующей формулой (8):

$$\Delta = (1 - (b_1 - 4,7) / (b_1 - 3,8)) \times 100 \% = (4,7 - 3,8) / (b_1 - 3,8) \times 100 \%. \quad (8)$$

Выразим параметр b_1 через коэффициенты вариации по формуле (9):

$$b_1 = 1 / ((v_R^2 + 0,15^2 (m_F / m_R)^2))^{0,5}. \quad (9)$$

Можно записать, что $m_F = R_y / Y_f = R_y / 1,3$, где R_y – расчётное сопротивление по пределу текучести.

В формуле (10) приведена следующая зависимость:

$$m_R = R_y (1 + 2,58 \times V_R). \quad (10)$$

Тогда $b_1 = 1 / ((v_R^2 + (0,15 / (1,3 \times (1 + 2,58 \times V_R))^2))^{0,5}$.

Подставляя формулу (10) в формулу (8), получим несложную аналитическую зависимость, в которой такой параметр эксплуатационной надёжности, как предельно допустимое значение коррозионного износа опор ЛЭП, зависит от индексов надёжности, устанавливаемых для начального и конечного периода эксплуатации ЛЭП, и параметра изменчивости стали в виде её коэффициента вариации. При этом в полученной зависимости отсутствуют такие факторы, как марка или класс стали, режим нагружения опор ЛЭП, другие многочисленные факторы,

влияние которых обобщённо учитывается индексом безопасности β , что делает полученные аналитические выражения удобными в практике инженерных расчётов [7; 8].

При значении коэффициента вариации стали $v_R = 0,08$ и $b_1 = 8,02$.

Тогда уточнённое предельно допустимое значение коррозионного износа опор ЛЭП будет равно (11):

$$\Delta = (4,7 - 3,8) / (b_1 - 3,8) \times 100 \% = 21 \%. \quad (11)$$

Значение параметра эксплуатационной надёжности предельно допустимого значения коррозионного износа [9; 10], полученное с использованием индекса надёжности, в целом соответствует значению РД 34.20.504-94, равному величине 20 %.

Результаты

На основании полученных выше аналитических зависимостей можно сделать следующие выводы:

1. Индексы надёжности β , устанавливаемые для начала и конца срока эксплуатации опор ЛЭП, связанные с таким параметром, как время эксплуатации, являются удобным инструментом для обоснования значений параметров надёжности, используемых для оценки надёжности сооружений как в процессе их эксплуатации, так и при назначении обоснованных значений коэффициентов метода расчёта по предельным состояниям, используемым в процессе проектирования опор ЛЭП.
2. В данной работе с использованием индексов надёжности β подтверждена обоснованность значений такого параметра оценки надёжности опор ЛЭП, как предельно допустимая величина коррозионного износа опор ЛЭП, используемая в различной нормативной эксплуатационной документации.
3. Индекс безопасности β , обобщённо учитывает влияние на надёжность различных многочисленных факторов: марка или класс стали, время эксплуатации, режим нагружения опор ЛЭП – и позволяет получать аналитические зависимости, удобные в практике расчётов надёжности сооружений.

Заключение

В заключение проведённого исследования следует подчеркнуть, что использование индексов надёжности β для анализа эксплуатационной надёжности опор воздушных линий электропередачи (ЛЭП) представляет собой не только эффективный, но и научно обоснованный метод, способный решать комплексные задачи современной энергетики. Разработанные и представленные в данной работе аналитические зависимости позволили детально оценить влияние времени эксплуатации на техническое состояние опор, а также полноценно интегрировать в расчёт значительное количество переменных факторов, таких как марка стали, особенности эксплуатационных режимов (нагрузочные и температурные воздействия), атмосферные и почвенные условия, а также индивидуальные конструктивные особенности объектов.

Такой подход обеспечивает всесторонний и объективный анализ остаточного ресурса и степени надёжности опор ЛЭП на всех стадиях их жизненного цикла – начиная с проектирования, через стадию ввода в эксплуатацию и до оценки технического состояния при длительном использовании. Интеграция показателя β в оценочные процедуры позволяет более гибко и точно обосновывать нормативные пределы коррозионного и механического

износа, что делает возможным адаптацию эксплуатационной документации к реальным эксплуатационным условиям и своевременно принимать решения по профилактическому обслуживанию или замене отдельных конструктивных элементов.

Полученные в ходе исследования результаты не только подтверждают эффективность применения индекса β для надёжного анализа, но и демонстрируют возможность пересмотра существующих нормативных значений коэффициентов надёжности при расчётах по предельным состояниям. Это способствует повышению точности проектных решений, устойчивости и безопасности эксплуатации, что особенно актуально при эксплуатации стареющих энергетических сооружений или при необходимости учёта природно-климатических изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка несущей способности оттяжек конструкций энергетических объектов и методик подбора их сечений / Л. С. Сабитов, Э. Ю. Абдуллазянов, Л. А. Токарева, Р. Д. Хусаинов, М. М. Айзатуллин // Строительное производство. – 2024. – № 2. – С. 8–13.

2. Методика расчёта температурных параметров и срока службы кабельных линий напряжением 10 кВ / И. И. Цицонь, Э. Ю. Абдуллазянов, Е. И. Грачева, А. Е. Немировский, S. Valtchev // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 65–74.

3. Кузин, Н. Я. Оценка влияния внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий / Н. Я. Кузин, С. Г. Багдоев // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2. – С. 79–82.

4. Техническое состояние промышленных зданий, сооружений и их реновация / И. И. Ведяков, Д. В. Конин, В. А. Артамонов, С. М. Кони́на, П. Д. Арленинов // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 5. – С. 6–18.

5. Евсеев, А. Е. Формирование матриц жёсткости стержня по дифференциальному уравнению при его изгибе / А. Е. Евсеев, И. Н. Гарькин, Э. Ю. Абдуллазянов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3 (49). – С. 57–65.

6. Техническое диагностирование оттяжек антенно-мачтовых

REFERENCES

1. Otsenka nesushhej sposobnosti ottiazhek konstruksij ehnergeticheskikh ob'ektov i metodik podbora ikh sechenij [Assessment of the bearing capacity of guy wires for power engineering facilities and methods for selecting their sections] / L. S. Sabitov, E. Y. Abdullazyanov, L. A. Tokareva, R. D. Khusainov, M. M. Aizatullin // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 2. – Pp. 8–13.

2. Metodika raschyota temperaturnykh parametrov i sroka sluzhby kabel'nykh linij napryazheniem 10 kV [Methodology for calculating temperature parameters and service life of 10 kV cable lines] / I. I. Tsitson, E. Y. Abdullazyanov, E. I. Gracheva, A. E. Nemirovsky, S. Valtchev // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy ehnergetiki [News of higher educational institutions. Problems of energy]. – 2024. – Vol. 26, No. 4. – Pp. 65–74.

3. Kuzin, N. Ya. Otsenka vliyaniya vneshnikh faktorov na nesushhuyu sposobnost' konstruksij grazhdanskikh zdaniy [Assessment of the influence of external factors on the bearing capacity of civil building structures] / N. Ya. Kuzin, S. G. Bagdoev // Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and construction]. – 2012. – No. 2. – Pp. 79–82.

4. Tekhnicheskoe sostoyanie promyshlennykh zdaniy, sooruzhenij i ikh renovatsiya [Technical condition of industrial buildings, structures and their renovation] / I. I. Vedyakov, D. V. Konin, V. A. Artamonov, S. M. Konina, P. D. Arleninov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. –

Таким образом, предложенный в работе методический подход расширяет арсенал инженерных инструментов, доступных специалистам в области электротехнических сетей, обеспечивает их дополнительными возможностями для комплексной оценки технического состояния и прогнозирования ресурса опор ЛЭП. Это открывает перспективы для дальнейшего совершенствования нормативной базы, оптимизации методов оценки и стратегического управления надёжностью электросетевой инфраструктуры. В конечном итоге, внедрение данного подхода в практику проектирования и эксплуатации способствует формированию более безопасной, эффективной и долговечной системы электроснабжения.

сооружений / Волоховский В. Ю., Воронцов А. Н., Жирнов А. В., Рудяк А. Р. // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 10. – С. 33–39.

7. Гарькин, И. Н. Анализ причин обрушения мачты сотовой связи в Пензенской области / И. Н. Гарькин, Н. В. Агафонкина // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – № 3. – С. 49–55.

8. Коткова, О. Н. Результаты проведённого обследования электрокабельных эстакад / О. Н. Коткова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность : Сборник статей по материалам 72-й Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 06 апреля – 10 октября 2015 года / Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара, 2015. – С. 414–417.

9. Данилов, А. М. Спектральные методы при анализе динамических систем / А. М. Данилов, И. А. Гарькина, И. Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 109–113.

10. Лобов, М. И. Условия обеспечения качества строительства и надёжной эксплуатации высотных сооружений башенного и мачтового типов / М. И. Лобов, А. С. Чирва, А. Н. Переварюха // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2011. – № 1 (87). – С. 105–111.

2024. – No. 5. – Pp. 6–18.

5. Evseev, A. E. Formirovanie matrits zhyostkosti sterzhnya po differentsial'nomu uravneniyu pri ego izgibe [Formation of rod stiffness matrices according to the differential equation during its bending] / A. E. Evseev, I. N. Garkin, E. Yu. Abdullazyanov // Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. – 2024. – No. 3 (49). – Pp. 57–65.

6. Tekhnicheskoe diagnostirovanie ottiazhek antenno-machtovykh sooruzhenij [Technical diagnostics of antenna-mast structure] / V. Yu. Volokhovskiy, A. N. Vorontsov, A. V. Zhirnov, A. R. Rudyak // Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Occupational safety in industry]. – 2017. – No. 10. – Pp. 33–39.

7. Garkin, I. N. Analiz prichin obrusheniya machty sotovoj svyazi v Penzenskoj oblasti [Analysis of the causes of the collapse of the cellular mast in the Penza region] / I. N. Garkin, N. V. Agafonkina // Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovatsii [Education and science in the modern world. Innovations]. – 2016. – No. 3. – Pp. 49–55.

8. Kotkova, O. N. Rezul'taty provedyonnogo obsledovaniya ehlektrokabel'nykh ehstakad [Results of the survey of electric cable overpasses] / O. N. Kotkova // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Estestvennye nauki i tekhnosfernaya bezopasnost' : Sbornik statej po materialam 72-j Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Samara, 06 aprelya – 10 oktyabrya 2015 goda [Traditions and innovations in construction and architecture. Natural sciences and techno-

sphere safety : Collection of articles based on the materials of the 72nd All-Russian scientific and technical conference, Samara, April 06 - October 10, 2015] / Samarskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet [Samara State University of Architecture and Civil Engineering]. – Samara, 2015. – Pp. 414–417.

9. Danilov, A. M. Spektral'nye metody pri analize dinamicheskikh sistem [Spectral methods in the analysis of dynamic systems] / A. M. Danilov, I. A. Garkina, I. N. Garkin // Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and con-

УДК 69.009

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_15

Сравнительный анализ подходов к ценообразованию на этапах жизненного цикла объектов капитального строительства: опыт России и Казахстана

Comparative Analysis of Cost Management Approaches on Stages of Building Life Cycle: The Case of Russia and Kazakhstan

Коротеев Дмитрий Дмитриевич

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, KoroteevMGSU@yandex.ru

Koroteev Dmitry Dmitrievich

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), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, KoroteevMGSU@yandex.ru

Бекен Жанна

Магистрант кафедры «Технологии строительства и конструкционных материалов», ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), Россия, 117198, Москва, улица Миклухо-Маклая, 6, zhanna.mik@gmail.com

Beken Zhanna

Master's student of the Department of Construction Technologies and Structural Materials, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Russia, 117198, Moscow, ulitsa Miklukho-Maklaya, 6, zhanna.mik@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются особенности ценообразования на этапах предпроектной подготовки и проектирования объектов капитального строительства в Российской Федерации и Республике Казахстан. Проведён сравнительный анализ нормативно-правовой и методической базы двух стран, регулирующей процессы определения сметной стоимости, включая ключевые методики, приказы и стандарты. Особое внимание уделено применяемым подходам к расчёту стоимости – индексному и ресурсному методам, а также внедрению укрупнённых нормативов цены строительства (НЦС), цифровым инструментам и программному обеспечению в сфере управления проектной стоимостью.

На основе изучения научных публикаций, нормативных документов и действующих практик сформулированы ключевые различия между российской и казахстанской системами ценообразования. Выделены проблемные аспекты, среди ко-

Abstract. This article examines the specifics of cost estimation at the pre-design and design stages of capital construction projects in the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan. A comparative analysis is conducted of the regulatory and methodological frameworks governing construction cost determination, including key methodologies, ministerial orders, and relevant technical standards. Special attention is given to the cost estimation approaches employed in each country—namely, the index-based and resource-based methods—as well as to the adoption of Unified Construction Cost Norms (UCCN), digital tools, and software used in cost management processes.

Drawing on academic literature, normative documents, and current practices, the paper identifies major differences between

struction]. – 2014. – No. 3. – Pp. 109–113.

10. Lobov, M. I. Usloviya obespecheniya kachestva stroitel'stva i nadyozhnoj ehkspluatatsii vysotnykh sooruzhenij bashenno-go i machtovogo tipov [Conditions for ensuring the quality of construction and reliable operation of high-rise structures of tower and mast types] / M. I. Lobov, A. S. Chirva, A. N. Perevariukha // Vestnik Donbasskoj natsional'noj akademii stroitel'stva i arkhitektury [Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture]. – 2011. – No. 1 (87). – Pp. 105–111.

торых – различный уровень цифровизации, разнородность методов расчёта, отсутствие унифицированной базы индексов и нормативов, а также слабая интеграция BIM-моделирования с экономическим обоснованием проектов. В статье обоснована необходимость гармонизации подходов к управлению стоимостью проектных работ с целью повышения прозрачности, эффективности и сопоставимости бюджетных инвестиций в строительную отрасль двух стран.

Результаты могут быть использованы при разработке новых нормативов, совершенствовании деятельности государственных экспертиз, а также в рамках интеграционных процессов между странами ЕАЭС.

Ключевые слова: жизненный цикл; ценообразование; проектирование; предпроектная стадия; сметная стоимость; НЦС; индексный метод; Казахстан; Россия; цифровизация.

the Russian and Kazakhstani systems of cost estimation. Problematic aspects are highlighted, including varying levels of digitalization, methodological fragmentation, lack of unified index databases, and insufficient integration of BIM modeling with project cost justification. The article substantiates the need for harmonization of cost management approaches in design and pre-construction stages in order to improve transparency, efficiency, and comparability of public investment in the construction sectors of both countries.

The results of this study may be useful for the development of new technical standards, enhancement of state expert review practices, and advancement of integration processes among Eurasian Economic Union (EAEU) member states.

Keywords: life cycle; cost estimation; design stage; pre-design analysis; construction cost; UCCN; index method; Kazakhstan;

Введение

Развитие строительной отрасли остро нуждается во внедрении эффективных механизмов управления на всех стадиях жизненного цикла объекта строительства, начиная с предпроектной подготовки и проектирования. Одним из ключевых компонентов управления жизненным циклом является экономическое обоснование стоимости, особенно на ранних стадиях – при разработке технико-экономических обоснований и проектно-сметной документации. Именно на этом этапе принимаются решения, определяющие бюджетные рамки, инвестиционную привлекательность и траекторию реализации проектов [1].

Актуальность темы обуславливается несколькими факторами. Во-первых, в условиях цифровизации и перехода к технологиям информационного моделирования (ТИМ/ВИМ) растёт необходимость в прозрачных и научно обоснованных подходах к ценообразованию [2; 3]. Во-вторых, и в Российской Федерации, и в Республике Казахстан прослеживаются процессы нормативного преобразования, направленные на внедрение укрупнённых нормативов цены строительства (НЦС), развитие цифровых платформ, стандартизации и унификации сметных методик [4; 5]. Невзирая на наличие общего советского наследия в создании нормативной базы, страны демонстрируют уникальные подходы к управлению стоимостью и экспертному сопровождению проектной документации [6].

В российской и казахстанской научной литературе представлены отдельные исследования, посвящённые методам сметного нормирования, оценке эффективности применения ТИМ/ВИМ и проблемам адаптации международных стандартов в ценообразовании. В работе [7] изучены современные вызовы в системе сметного ценообразования России, а в исследованиях [8; 9] рассматриваются подходы к индексации и планированию затрат в строительной отрасли Казахстана. В работе [10] подчёркивается необходимость интеграции экономической части с цифровыми моделями объектов, указывая на проблемы согласования нормативов с ТИМ/ВИМ-средой.

В научной литературе пока отсутствует комплексный подход к сравнительному анализу методов управления стоимостью в Российской Федерации и Республики Казахстан, в частности на этапах предпроектной подготовки и проектирования.

Цель исследования – провести сравнительный анализ подходов к управлению стоимостью на стадиях предпроектной подготовки и проектирования в России и Казахстане, выявить нормативные, методические и цифровые различия, определить направления возможной адаптации практик.

Теоретические и нормативные основы

Управление стоимостью на этапах проектирования и предпроектной подготовки является важным элементом жизненного цикла объекта капитального строительства, напрямую влияющим на эффективность расходовании инвестиций и реализацию проектных решений. Согласно международной практике, управление стоимостью входит в структуру проектного управления (РМВОК – Project Management Body of Knowledge) и охватывает планирование, оценку, бюджетирование, финансирование

Russia; state expertise; digitalization.

и контроль затрат на протяжении всех фаз проекта [11]. Подобные подходы представлены и в международных стандартах ISO, в частности ГОСТ Р ИСО 21500-2014 [12], а также в руководствах AACE International.

В российской и казахстанской практике подходы к управлению стоимостью традиционно основываются на советской системе сметного нормирования, но в последние годы претерпевают значительные изменения из-за цифровизации, внедрения технологии информационного моделирования и перехода к укрупнённым нормативам цены строительства.

В Российской Федерации главным документом, регламентирующим порядок определения сметной стоимости, выступает Приказ Минстроя РФ от 04.08.2020 № 421/пр [3]. В нём закреплены основные методы ценообразования: базисно-индексный метод (применяется как основной), ресурсный метод (для уникальных объектов), а также использование укрупнённых нормативов на стадии обоснования инвестиций. Дополнительную поддержку расчётной части обеспечивает внедрение Федеральной государственной информационной системы ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС), обеспечивающей централизованное обновление сметных нормативов и индексов [13]. Основные положения и стадийность проектирования закреплены в Градостроительном кодексе РФ [6] и в СП 555.1325800.2025 [2].

В Республике Казахстан аналогичную роль играют СН РК 1.02-03-2022 [4], регламентирующие порядок составления проектно-сметной документации, и СЦП РК 8.03-01-2024 [5], которые представляют собой укрупнённый сборник цен на проектные работы. В Казахстане преимущественно используют ресурсный метод расчёта, однако с начала 2020-х годов идёт постепенный переход к индексному методу. В исследованиях Токбаевой Ж. Н. [8] и Хасена А. [9] отмечается, что в стране на повестке остаются вопросы методической целостности и адаптации индексов к рыночным условиям.

Цифровизация сметного нормирования в Казахстане происходит при помощи локальных программных решений («АВС-Смета», «Smeta.kz»), но пока не обладает той же степенью интеграции и стандартизации, как ФГИС ЦС в России. В обоих государствах набирает обороты внедрение информационного моделирования: в России с 2021 года применение ТИМ/ВИМ стало обязательным для государственных объектов (СП 333.1325800.2020 [14]), а в Казахстане – с 2023 года для технологически сложных объектов [15].

Авторы [10] подчёркивают, что интеграция ТИМ/ВИМ в систему управления стоимостью требует пересмотра состава сметной документации, соответственно, и новых компетенций у специалистов. Единым направлением для обеих стран остаётся поиск эффективных цифровых решений, которые способны обеспечивать прозрачность расчётов и сопоставлять инвестиционные затраты.

Материалы и методы

Исследование базируется на сравнительном анализе нормативно-правовых, методических и цифровых подходов к ценообразованию на этапах предпроектной подготовки и проектирования объектов строительства в Российской Федерации и Республике Казахстан. Методология

исследования включает теоретический и эмпирический компоненты, а также основана на принципах системного, структурно-функционального анализа.

В качестве источников информации использованы:

- официальные нормативно-правовые акты и методики, действующие в Российской Федерации и Республике Казахстан (включая СП 555.1325800.2025 [2], Приказ Минстроя РФ № 421/пр [3], СН РК 1.02-03-2022 [4], СЦП РК 8.03-01-2024 [5]);
- данные Федеральной государственной информационной системы ценообразования (ФГИС ЦС) [13];
- научные публикации, индексируемые в базах РИНЦ, Scopus, eLibrary, CyberLeninka и других [7–10];
- положения международных стандартов управления проектами (РМВОК [11], ГОСТ Р ИСО 21500-2014 [12]).

Методы исследования:

- сравнительный анализ, который применён для определения различий и общих аспектов между нормативно-методической базой Российской Федерации и Республики Казахстан;
- логический и структурный анализ, который позволил выделить особо важные компоненты систем ценообразования и стадии их цифровизации;
- качественный обзор литературы, который был использован для формирования теоретических основ и выявления пробелов в текущих исследованиях по теме.

В качестве временных рамок для анализа взят период 2020–2024 гг. Данный выбор обусловлен активным развитием цифровых систем управления стоимостью и внедрением ТИМ/ВИМ в государственные строительные программы обеих стран.

Результаты представлены в виде аналитической таблицы, обобщающей сравнительные показатели, они интерпретируются с точки зрения перспектив унификации и интеграции нормативных практик.

Также использовались аналитические материалы Минстроя России и Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан, содержащие статистику по внедрению технологий информационного моделирования в строительную отрасль [16; 17].

Результаты и их обсуждение

Определение стоимости на предпроектной стадии: сравнение практик Российской Федерации и Республики Казахстан

На предпроектной стадии – при разработке технико-экономических обоснований (ТЭО), обоснований инвестиций и аналогичной документации – в Российской Федерации основным инструментом расчёта стоимости выступают укрупнённые нормативы цены строительства. Эти нормативы представляют собой обобщённые показатели стоимости строительства в расчёте на единицу измерения (m^2 , m^3 , т. п.) с учётом типа объекта, региона и назначения. Методика позволяет оперативно сформировать ориентировочные затраты без наличия детальных проектных решений [3; 13].

Применение НЦС в России целесообразно только на ранних стадиях жизненного цикла объекта, так как:

- расчёты производятся по среднестатистическим параметрам;

- отсутствует привязка к конкретным конструктивным и инженерным решениям;
- невозможно учесть фактические объёмы и виды работ, отражённые в проектной документации.

Сфера применения НЦС охватывает формирование начальной (максимальной) цены контракта (НМЦК) в рамках закупочной деятельности по Федеральному закону «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 № 44-ФЗ, а также обоснование инвестиций в рамках государственных программ.

В Республике Казахстан методика укрупнённого нормирования пока не получила широкого нормативного и практического применения. В большинстве случаев на предпроектной стадии используются усреднённые показатели из действующих ресурсных сборников или ориентировочные данные по предыдущим проектам, часто основанные на внутренних расчётах проектных организаций или заключениях ведомственных экспертиз [4; 5; 17]. Разработка официальных НЦС ведётся, но остаётся в стадии пилотного проекта.

В то время как в России сформирован формализованный и интегрированный с цифровыми системами механизм предварительной оценки стоимости, в Казахстане расчёты на предпроектной стадии остаются менее стандартизированными и отличаются по регионам и ведомствам.

Методы определения стоимости на стадии проектирования: переход к детализации

На стадии архитектурно-строительного проектирования в Российской Федерации осуществляется переход от укрупнённых расчётов к ресурсно-индексному методу (РИМ), который применяется для формирования проектно-сметной документации. В соответствии с Приказом Минстроя РФ № 421/пр [3], данный метод основывается на расчёте объёмов ресурсов (труда, материалов, оборудования) и применении нормативов из сметных сборников, с последующим корректированием стоимости на основе официальных индексов, публикуемых в ФГИС ЦС [13].

Преимущества РИМ:

- высокая точность расчёта, учитывающая специфику проекта;
- регулярное обновление индексов;
- обязательность применения на всех стадиях разработки ПСД и рабочей документации для госзаказа;
- интеграция с цифровыми платформами расчёта, включая «ГРАНД-Смета», «1С: Смета» и др.

В Республике Казахстан, напротив, даже на стадии проектирования по-прежнему преобладает ресурсный метод, основанный на прямом применении элементных сметных норм и расценок из сборников СН РК и СЦП РК [4; 5]. Индексный метод либо не используется, либо применяется ограниченно, в основном внутри отдельных организаций или ведомств.

Причины отказа от РИМ в Казахстане:

- отсутствие централизованной системы индексов и их регулярного обновления;
- слабая интеграция между сметными нормативами и цифровыми платформами;
- ограниченные методические рекомендации по переходу к индексному подходу.

Критерий	Российская Федерация	Республика Казахстан
Основной нормативный документ	Приказ Минстроя РФ № 421/пр [3]	СН РК 1.02-03-2022 [4]
Метод расчёта стоимости	Базисно-индексный (преимущественно), ресурсный для уникальных объектов	Ресурсный (преимущественно), элементы индексного метода внедряются
Использование НЦС	Применяется для госинвестиций и расчёта НМЦК [3; 13]	В стадии разработки и пилотного внедрения
Цифровая платформа	ФГИС ЦС – централизованная, обязательная для расчётов [13]	Программное обеспечение: ABC-Смета, Smeta.kz (локальные решения)
Наличие ТИМ/ВІМ-регламента	Обязательно с 2021 г. (СП 333.1325800.2020) [14]	Обязательно с 2023 г. для сложных объектов [15]
Интеграция сметы	Интеграция через ФГИС ЦС и ГРАНД-Смету, развитие совместимых классификаторов	Начальная стадия: несовместимость ПО и отсутствие единой среды
Проблемы	Сложность методической базы, переходный период, необходимость адаптации к ТИМ/ВІМ	Недостаточная детализация норм, нехватка квалифицированных кадров, низкая степень цифровизации
Текущий фокус реформ	Централизация, автоматизация расчётов, нормативное закрепление ТИМ/ВІМ	Повышение гибкости и локализация индексов, адаптация к цифровым технологиям

Табл. 1. Сравнение подходов к ценообразованию в Российской Федерации и Республике Казахстан на стадии проектирования
Tab. 1. Comparison of cost estimation approaches in Russia and Kazakhstan at the design stage

Согласно исследованиям [8; 9], сохранение ресурсно-го метода обусловлено также недостаточной готовностью проектных организаций к переходу на новые форматы расчёта, а также слаборазвитой инфраструктурой по сбору и верификации рыночных цен.

В отличие от российской модели, где проектная стоимость на этапе ПСД рассчитывается с высокой степенью детализации, подход в Казахстане сохраняет преимственность традиционной советской системы, ориентированной на ресурсные нормы.

Сравнительный анализ нормативной базы, цифровизации и методик расчёта

На основании проведённого сравнительного анализа выявлены ключевые особенности подходов к ценообразованию на стадии проектирования в строительной отрасли Российской Федерации и Республики Казахстан. Основное внимание уделено нормативной базе, методам расчёта стоимости, уровню цифровизации и применяемым инструментам (таблица 1).

Результаты анализа демонстрируют, что, несмотря на схожие цели (прозрачность инвестиций, переход к цифровым методам обоснования стоимости), подходы в Российской Федерации и Республике Казахстан существенно различаются.

Российская система делает акцент на централизованных платформах, строгом нормативном регулировании и повсеместном внедрении укрупнённых нормативов. ФГИС ЦС играет ключевую роль в обеспечении актуальности данных и автоматизации расчётов [13], а внедрение СП 333.1325800.2020 [14] связывает ТИМ/ВІМ с экономическим блоком проекта.

Казахстан придерживается более гибкого подхода. При сохранении ресурсного метода развиваются локальные цифровые решения, но интеграция с ТИМ/ВІМ пока остаётся на этапе внедрения. Как показывают публикации [8; 9], одной из главных проблем является отставание в создании универсальной нормативной и цифровой среды.

В обоих случаях прослеживается переход к гибридной модели ценообразования, сочетающей традиционные методы с цифровыми инструментами, что соответствует

мировым трендам [11; 12]. Россия продвинулась дальше в создании единой экосистемы расчётов, а Казахстану ещё предстоит завершить методологическую трансформацию.

Заключение

Проведённый сравнительный анализ подходов к управлению стоимостью проектных и предпроектных работ в Российской Федерации и Республике Казахстан позволил выявить как общие тенденции, так и принципиальные различия в нормативной базе, методах ценообразования и уровне цифровизации строительной отрасли.

Общими чертами для обеих стран являются исторически схожая структура нормативно-методической базы, использование ресурсного и индексного методов расчёта сметной стоимости, а также стремление к внедрению информационного моделирования на ранних стадиях жизненного цикла объектов капитального строительства. Цифровизация рассматривается как важный фактор повышения прозрачности и обоснованности инвестиций в строительные проекты.

Основные различия заключаются в степени централизации процессов: Россия реализует унифицированную модель ценообразования с применением Федеральной государственной информационной системы и укрупнённых нормативов цены строительства, тогда как Казахстан использует более гибкую, децентрализованную систему, ориентированную на локальные программные решения. Интеграция цифровых инструментов с экономической частью проектной документации в Республике Казахстан остаётся на стадии формирования.

Результаты исследования могут быть использованы для структурирования предложений по гармонизации нормативных и цифровых подходов к ценообразованию в строительной сфере, особенно в ключе интеграции стран в рамках Евразийского экономического союза. В дальнейших исследованиях целесообразно рассмотреть практику сопоставления сметной стоимости и фактических затрат в условиях внедрения ТИМ/ВІМ и НЦС, в том числе оценку влияния цифровых решений на точность бюджетного планирования.

- С. 3–8.
2. Система нормативных документов в строительстве. Основные положения : СП 555.1325800.2025 : Свод правил : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от

12 марта 2025 г. № 159/пр и введён в действие с 13 апреля 2025 г. – Москва : Росстандарт, 2025. – 24 с. – Издание официальное.

3. Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации : Приказ Минстроя России от 04.08.2020 № 421/пр : зарегистрирован Минюстом 23 сентября 2020 г. № 59986. – Москва : Минстрой России, 2020. – 116 с.
4. Порядок разработки, согласования, утверждения и состав проектно-сметной документации на строительство : СН РК 1.02-03-2022 : Строительные нормы : утверждены приказом Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан от 20 июля 2020 г. № 152-НК и введён в действие с 1 августа 2022 г. / АО «КазНИИ-ИСА». – Республика Казахстан : Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан, 2022. – 65 с.
5. Сборник цен на проектные работы для строительства : СЦП РК 8.03-01-2024 : Сборник цен на проектные работы для строительства : принят приказом Комитета по делам строительства и ЖКХ МИИР РК от 13.09.2019№ 140-нк и введён в действие с 01.01.2022 / АО «КазНИИИСА». – Республика Казахстан : Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан, 2024.
6. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (Ст. 48–49) : ред. от 01.05.2024 : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года. – Москва, 2004. – 256 с. – Издание официальное.
7. Гимадиева, Л. Ш. Ценообразование в строительстве: анализ ситуации и дальнейшие перспективы / Л. Ш. Гимадиева // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 2. – С. 32.
8. Токбаева, Ж. Н. Развитие индекса цен в строительстве Республики Казахстан : магистерский проект на соискание степени магистра бизнеса и управления / Токбаева Жайран Насулловна ; Институт управления Академии государственного управления при президенте Республики Казахстан. – Нур-Султан, 2022.
9. Хасен, А. Современные подходы планирования затрат в строительном комплексе Республики Казахстан / А. Хасен // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : Сборник тезисов научных статей XXII Международного научно-методического семинара, Брест, 29–30 сентября 2022 г. /

REFERENCES

1. Lapidus, A. A. Issledovanie factorov, vliyayushhikh na formirovanie byudzheta proekta na etapakh zhiznennogo tsikla ob'ekta stroitel'stva [Study of factors influencing the project budget at the stages of the life cycle of a capital construction project] / A. A. lapidus, P. A. Stepaev // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction Production]. – 2024. – No. 2. – Pp. 3–8.
2. Sistema normativnykh dokumentov v stroitel'stve. Osnovnye polozheniya : SP 555.1325800.2025 : Svod pravil [The system of regulatory documents in construction. Main provisions : SP 555.1325800.2025 : Set of Rules] : utverzhdyon prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 12 marta 2025 g. № 159/pr i vvedyon v dejstvie s 13 aprelya 2025 g. [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation No. 159/pr dated March 12, 2025 and entered into force on April 13, 2025]. – Moscow : Rosstandart, 2025. – 24 p. – Izdanie ofitsial'noe [Official publication].
3. Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya smetnoj stoimos-

ти stroitel'stva, rekonstruksii, kapital'nogo remonta, snosa ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva, rabot po sokhraneniyu ob'ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federatsii na territorii Rossijskoj Federatsii [On approval of the Methodology for Determining the Estimated Cost of Construction, Reconstruction, Capital Repairs, demolition of Capital Construction Facilities, and Conservation of Cultural Heritage Sites (Historical and Cultural Monuments) of the Peoples of the Russian Federation on the Territory of the Russian Federation] : Prikaz Ministroya Rossii ot 04.08.2020 № 421/pr [Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 08/04/2020 No. 421/pr] : zaregistrіrovan Minyustom 23 sentyabrya 2020 g. № 59986 [registered by the Ministry of Justice on September 23, 2020 No. 59986]. – Moscow : Ministroy Rossii [Ministry of Construction of Russia], 2020. – 116 p.

4. Poryadok razrabotki, soglasovaniya, utverzhdeniya i sostav proektno-smetnoj dokumentatsii na stroitel'stvo : SN RK 1.02-03-2022 : Stroitel'nye normy [The procedure for the development, coordination, approval and composition of de-
- ти stroitel'stva, rekonstruksii, kapital'nogo remonta, snosa ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva, rabot po sokhraneniyu ob'ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federatsii na territorii Rossijskoj Federatsii [On approval of the Methodology for Determining the Estimated Cost of Construction, Reconstruction, Capital Repairs, demolition of Capital Construction Facilities, and Conservation of Cultural Heritage Sites (Historical and Cultural Monuments) of the Peoples of the Russian Federation on the Territory of the Russian Federation] : Prikaz Ministroya Rossii ot 04.08.2020 № 421/pr [Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 08/04/2020 No. 421/pr] : zaregistrіrovan Minyustom 23 sentyabrya 2020 g. № 59986 [registered by the Ministry of Justice on September 23, 2020 No. 59986]. – Moscow : Ministroy Rossii [Ministry of Construction of Russia], 2020. – 116 p.
10. Внедрение возможностей технологий информационного моделирования в сметное нормирование и ценообразование / И. А. Павлова, Е. Е. Пенская, Д. С. Слесарева, Е. Н. Карпушко // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Волгоград, 11–12 декабря 2024 года. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2024. – С. 369–375.
11. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) : The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge. – 7th Edition. – Pennsylvania, USA : Project Management Institute, 2021.
12. Руководство по проектному менеджменту : ГОСТ Р ИСО 21500-2014 : Национальный стандарт Российской Федерации : утверждён и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2014 г. № 1873-ст. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 46 с. – Издание официальное.
13. ФГИС ЦС – Федеральная государственная информационная система ценообразования в строительстве : [официальный сайт]. – URL: <https://fgiscs.ru> (дата обращения: 13.05.2025).
14. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла : СП 333.1325800.2020 : Свод правил : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 928/пр и введён в действие с 1 июля 2021 г. – Москва : Росстандарт, 2020.
15. Romanova, O. Цифровизация строительства Казахстана 2023: переходим на BIM / O. Romanova // PlanRadar : [интернет-ресурc]. – URL: <https://www.planradar.com/ru/cifrovizaciya-stroitelstva-kazahstana> (дата обращения: 13.05.2025).
16. Минстрой России подвёл итоги цифровой трансформации стройотрасли и ЖКХ за 2022 год и определил планы на 2023 год / Минстрой России : [официальный сайт]. – URL: <https://www.minstroyrf.ru/press/minstroy-rossii-podvel-itogi-tsifrovoy-transformatsii-stroyotrasli-i-zhkhk-h-za-2022-god-i-opredelil-p/> (дата обращения 13.05.2025).
17. Обсуждение законопроекта “Градостроительный кодекс”. Цифровизация строительства: Внедрение ИС “Е-Qurylys” / Единая платформа интернет-ресурсов государственных органов gov.kz : [официальный сайт]. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/ulytau-gask/press/news/details/557881?lang=ru> (дата обращения 13.05.2025).

ti stroitel'stva, rekonstruksii, kapital'nogo remonta, snosa ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva, rabot po sokhraneniyu ob'ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federatsii na territorii Rossijskoj Federatsii [On approval of the Methodology for Determining the Estimated Cost of Construction, Reconstruction, Capital Repairs, demolition of Capital Construction Facilities, and Conservation of Cultural Heritage Sites (Historical and Cultural Monuments) of the Peoples of the Russian Federation on the Territory of the Russian Federation] : Prikaz Ministroya Rossii ot 04.08.2020 № 421/pr [Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 08/04/2020 No. 421/pr] : zaregistrіrovan Minyustom 23 sentyabrya 2020 g. № 59986 [registered by the Ministry of Justice on September 23, 2020 No. 59986]. – Moscow : Ministroy Rossii [Ministry of Construction of Russia], 2020. – 116 p.

4. Poryadok razrabotki, soglasovaniya, utverzhdeniya i sostav proektno-smetnoj dokumentatsii na stroitel'stvo : SN RK 1.02-03-2022 : Stroitel'nye normy [The procedure for the development, coordination, approval and composition of de-

sign and estimate documentation for construction : SN RK 1.02-03-2022 Building regulations] : utverzhdeny prikazom Komiteta po delam stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Ministerstva industrii i infrastrukturnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan ot 20 iyulya 2020 g. № 152-NK i vvedyon v dejstvie s 1 avgusta 2022 g. [approved by Order No. 152-NK of the Committee for Construction and Housing and Communal Services of the Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan dated July 20, 2020 and effective from August 1, 2022] / AO «KazNIISA» [KazNIISA JSC]. – Republic of Kazakhstan : Ministerstvo industrii i infrastrukturnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan [Ministry of Industry and Infrastructural Development of the Republic of Kazakhstan], 2022. – 65 p.

5. Sbornik tsen na proektnye raboty dlya stroitel'stva : STSP RK 8.03-01-2024 : Sbornik tsen na proektnye raboty dlya stroitel'stva [Collection of prices for design works for construction : SCP RK 8.03-01-2024 : Collection of prices for design works for construction] : prinyat prikazom Komiteta po delam stroitel'stva i ZHKKH MIIR RK ot 13.09.2019№ 140-nk i vvedyon v dejstvie s 01.01.2022 [adopted by the Order of the Committee for Construction and Housing and Communal Services of the Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Kazakhstan dated 09/13/2019 No. 140-nk and entered into force on 01.01.2022] / AO «KazNIISA» [KazNIISA JSC]. – Republic of Kazakhstan : Ministerstvo industrii i infrastrukturnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan [Ministry of Industry and Infrastructural Development of the Republic of Kazakhstan], 2024.

6. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii ot 29.12.2004 № 190 FZ (St. 48–49) : red. ot 01.05.2024 [Urban Planning Code of the Russian Federation dated 29.12.2004 No. 190 FZ (Art. 48–49) : ed. Dated 05/01/2024] : 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]. – Moscow, 2004. – 256 p. – Izdanie ofitsial'noe [Official publication].

7. Gimaldieva, L. Sh. Tsenoobrazovanie v stroitel'stve: analiz situatsii i dal'nejshie perspektivy [Pricing in Construction: Analysis of the Situation and Future Prospects] / L. Sh. Gimaldieva // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2020. – Vol. 12, No. 2. – P. 32.

8. Tokbaeva, J. N. Razvitie indeksa tsen v stroitel'stve Respubliki Kazakhstan [Development of the price index in construction of the Republic of Kazakhstan] : magisterskij proekt na soiskanie stepeni magistra biznesa i upravleniya [master's project for the degree of Master of Business and Management] / Tokbaeva Zhairan Nasullova ; Institut upravleniya Akademii gosudarstvennogo upravleniya pri prezidentе Respubliki Kazakhstan [Institute of Management of the Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan]. – Nur-Sultan, 2022.

9. Khasen, A. Sovremennye podkhody planirovaniya zatrat v stroitel'nom komplekse Respubliki Kazakhstan [Modern approaches to cost planning in the construction complex of the Republic of Kazakhstan] / A. Khasen // Perspektivnye napravleniya innovatsionnogo razvitiya stroitel'stva i podgotovki inzhenernykh kadrov [Promising directions of innovative development of construction and engineering personnel training] : Sbornik tezisov nauchnykh statej XXII Mezhdunarodnogo nauchno-metodicheskogo seminar, Brest, 29–30 sentyabrya 2022 g. [Collection of abstracts of scientific articles of the XXII International Scientific and Methodological Seminar, Brest, September 29–30, 2022] / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Brestskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet [Ministry of Education of the Republic of Belarus, Brest State Technical University] ; redkol. S. M. Semenyuk i dr. [editor S. M. Semenyuk et al.]. – Brest : BrGTU, 2022. – Pp. 50–51.

10. Vnedrenie vozmozhnostej tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya v smetnoe normirovanie i tsenoobrazovanie [Implementation of the capabilities of information modeling technologies in cost estimation and pricing] / I. A. Pavlova, E. E. Penskaya, D. S. Slesareva, E. N. Karpushko // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa [Actual problems and prospects of the construction complex development] : Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Volgograd, 11–12 dekabrya 2024 goda [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, December 11–12, 2024]. – Volgograd : Volgogradskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universite [Volgograd State Technical University], 2024. – Pp. 369–375.

11. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) : The standard for project management and a guide to the project management body of knowledge. – 7th Edition. – Pennsylvania, USA : Project Management Institute, 2021.

12. Rukovodstvo po proektnomu menedzhmentu : GOST R ISO 21500-2014 : Natsional'nyj standart Rossijskoj Federatsii [Project Management Manual : GOST R ISO 21500-2014 : National Standard of the Russian Federation] : utverzhdyon i vvedyon v dejstvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 26 noyabrya 2014 g. № 1873-st [approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 26, 2014 No. 1873-art]. – Moscow : Standartinform, 2015. – 46 p. – Izdanie ofitsial'noe [Official publication].

13. FGIS TSS – Federal'naya gosudarstvennaya informatsionnaya sistema tsenoobrazovaniya v stroitel'stve [FGIS CA – Federal State information system of pricing in construction] : [official website]. – URL: <https://fgiscs.ru> (date of request: 05/13/2025).

14. Informatsionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informatsionnoj modeli ob'ektov na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla : SP 333.1325800.2020 : Svod pravil [Information modeling in construction. Rules for forming an information model of objects at various stages of their life cycle : SP 333.1325800.2020 : Set of Rules] : utverzhdyon prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 31 dekabrya 2020 g. № 928/pr i vvedyon v dejstvie s 1 iyulya 2021 g. [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation No. 928/pr dated December 31, 2020 and effective from July 1, 2021]. – Moscow : Rosstandart, 2020.

15. Romanova, O. Tsifrovizatsiya stroitel'stva Kazakhstana 2023: perekhodim na BIM [Digitalization of construction in Kazakhstan 2023: switching to BIM] / O. Romanova // PlanRadar : [online resource]. – URL: <https://www.planradar.com/ru/cifrovizatsiya-stroitelstva-kazahstana> (date of request: 05/13/2025).

16. Ministroy Rossii podvel itogi tsifrovoy transformatsii strojotrasli i ZHKKH za 2022 god i opredelil plany na 2023 god [The Ministry of Construction of Russia summed up the results of the digital transformation of the construction industry and housing and communal services for 2022 and defined plans for 2023] / Ministroy Rosii [The Ministry of Construction of Russia] : [official website]. – URL: <https://www.minstroyrf.ru/press/minstroy-rossii-podvel-itogi-tsifrovoy-transformatsii-stroyotrasli-i-zhkhkha-2022-god-i-opredelil-p> / (accessed 05/13/2025).

17. Obsuzhdenie zakonoproekta "Gradostroitel'nyj kodeks". TSifrovizatsiya stroitel'stva: Vnedrenie IS "E-Qurylys" [Discussion of the draft law "Urban Planning Code". Digitalization of construction: Implementation of the IP "E-Qurylys"] / Edinaya platforma internet-resursov gosudarstvennykh organov gov.kz [Unified platform of Internet resources of government agencies gov.kz] : [official website]. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/ulytau-gask/press/news/details/557881?lang=ru>.

УДК 004.8:69(575.4)

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_21

Комплексное применение САПР и технологий искусственного интеллекта для повышения эффективности строительных проектов в Туркменистане

Integrated Application of CAD and AI Technologies to Improve the Efficiency of Construction Projects in Turkmenistan

Самсонов Роман Олегович

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, SamsonovRO@mgsu.ru

Samsonov Roman Olegovich

Doctor of Technical Sciences, 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, SamsonovRO@mgsu.ru

Черкезова Гунча

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, cherkezova.guncha1998@mail.ru

Cherkezova Guncha

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, cherkezova.guncha1998@mail.ru

Аразов Байраммырат

Аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, baymyrat94.94@mail.ru

Arazov Bayrammyrat

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, baymyrat94.94@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается комплексное применение систем автоматизированного проектирования (САПР) и технологий искусственного интеллекта (ИИ) в строительных проектах на территории Туркменистана. Целью исследования является выявление потенциала интеграции САПР и ИИ в строительную отрасль страны для повышения её эффективности, качества и устойчивости. В качестве методов исследования использовались анализ литературных источников, обобщение опыта внедрения цифровых технологий в строительстве, а также сравнительный анализ традиционных и цифровых подходов к проектированию и управлению.

Особое внимание уделяется анализу преимуществ использования этих технологий, включая повышение точности проектной документации, сокращение сроков реализации объектов, снижение затрат и минимизацию проектных ошибок. Рассматриваются примеры успешного внедрения САПР и ИИ в про-

ектирование объектов инфраструктуры, жилых и коммерческих зданий. Показано, как применение ИИ-алгоритмов позволяет автоматизировать рутинные процессы, прогнозировать риски, оптимизировать логистику и обеспечивать контроль качества на всех этапах строительства.

В статье также освещаются перспективы дальнейшего развития цифровых решений, направленных на цифровизацию строительных процессов, повышение конкурентоспособности строительных организаций и достижение устойчивого развития отрасли. Сделан вывод о важности широкомасштабного внедрения САПР и ИИ в строительную практику Туркменистана в условиях современных технологических вызовов.

Ключевые слова: САПР; искусственный интеллект; строительные проекты; эффективность; автоматизация; проектирование; управление проектами; Туркменистан.

Abstract. The article discusses the integrated use of computer-aided design (CAD) systems and artificial intelligence (AI) technologies in construction projects in Turkmenistan. The objective of the study is to identify the potential for CAD and AI integration in the country's construction industry to improve its efficiency, quality, and sustainability. The research methods used included literature review, generalization of the experience of implementing digital technologies in construction, and a comparative analysis of traditional and digital approaches to design and management.

Particular attention is paid to the analysis of the benefits of using these technologies, including increasing the accuracy of design documentation, reducing the time frame for implementing projects, reducing costs, and minimizing design errors. Examples of successful implementation of CAD and AI in the design of in-

frastructure facilities, residential and commercial buildings are considered. It is shown how the use of AI algorithms allows automating routine processes, predicting risks, optimizing logistics, and ensuring quality control at all stages of construction.

The article also highlights the prospects for further development of digital solutions aimed at digitalizing construction processes, increasing the competitiveness of construction organizations, and achieving sustainable development of the industry. A conclusion is made about the importance of large-scale implementation of CAD and AI in the construction practice of Turkmenistan in the context of modern technological challenges.

Keywords: CAD; artificial intelligence; construction projects; efficiency; automation; design; project management; Turkmenistan.

Введение

Строительная отрасль Туркменистана играет важную роль в экономике страны, обеспечивая значительный вклад в ВВП и привлекая крупные инвестиции. В 2023 году объём инвестиций в строительный сектор составил около 5,2 млрд долларов США, что составляет более 20 % от общего объёма капитальных вложений в экономику страны. На данный момент в Туркменистане реализуется свыше 2 500 строительных проектов, включая жилые комплексы, промышленные объекты, транспортную инфраструктуру и объекты социальной сферы. Среди крупнейших проектов стоит отметить строительство нового административного центра Ахалского вelayа стоимостью более 1,5 млрд долларов, автомагистраль Ашхабад – Туркменабад протяжённостью 600 км и стоимостью 2,3 млрд долларов, международный аэропорт в Туркменабаде с инвестированием порядка 2,3 млрд долларов, а также жилой массив «Аркадаг», в который вложено около 3,3 млрд долларов и который включает более 336 объектов инфраструктуры. Средние темпы роста строительного сектора в стране составляют 6–8 % в год, что соответствует мировым показателям и свидетельствует о динамичном развитии отрасли [1].

Несмотря на активное развитие строительной отрасли, уровень цифровизации остаётся относительно низким. По данным Министерства строительства и архитектуры Туркменистана, около 65 % всех строительных проектов по-прежнему разрабатывается с использованием традиционных методов проектирования, а только 35 % – с применением цифровых технологий, включая системы автоматизированного проектирования (САПР). Наиболее часто применяемые цифровые инструменты включают AutoCAD, который используется в 75 % проектных бюро страны, Revit, внедрённый в 15–20 % строительных компаний, и BIM (Building Information Modeling), которое применяется только в 5–7 % крупных инфраструктурных проектов. Основные проблемы, ограничивающие цифровизацию, включают недостаточную квалификацию кадров, поскольку только около 10 % специалистов имеют сертификаты по BIM и современным САПР, высокую стоимость лицензионного ПО, а также низкий уровень интеграции ИИ и Big Data, которые, в отличие от Китая и России, где ИИ активно используется для проектирования и прогнозирования рисков, в Туркменистане находятся на стадии тестирования.

В последние годы правительство Туркменистана принимает активные шаги для цифровой трансформации строительной отрасли. В рамках программы «Цифровая экономика Туркменистана 2021–2025» выделено свыше 500 млн долларов на разработку и внедрение цифровых технологий, включая создание национального стандарта BIM, работы по которому ведутся с 2022 года с ожидаемым завершением к 2025 году. Кроме того, государство финансирует курсы по САПР и BIM в ведущих вузах страны, обучая около 300–400 студентов ежегодно, а также разрабатывается национальная платформа строительных данных, запуск которой планируется в 2026 году.

Системы автоматизированного проектирования представляют собой программные комплексы, ориентированные на создание чертежей, 3D-моделей и технической документации. Они обеспечивают точность и скорость выполнения проектных работ. Технологии информаци-

онного моделирования (ТИМ/BIM) – это более широкий подход, включающий создание и управление всем жизненным циклом объекта – от проектирования до эксплуатации. BIM-технологии позволяют объединять данные всех участников проекта в единой цифровой модели. Таким образом, САПР является одной из ключевых составляющих ТИМ-процессов, но не исчерпывает их функционал [2].

Материалы и методы

Системы автоматизированного проектирования стали неотъемлемой частью строительной отрасли по всему миру. В последние десятилетия использование САПР значительно повысило качество, скорость и точность проектных решений. Внедрение этих систем в строительный процесс помогает существенно снизить затраты, упростить координацию между различными участниками проекта и улучшить эффективность контроля на всех этапах работы. В Туркменистане внедрение САПР в строительную отрасль становится важным шагом на пути к модернизации и цифровизации всего строительного процесса.

Системы автоматизированного проектирования представляют собой комплекс программных и аппаратных средств, предназначенных для поддержки и автоматизации процесса проектирования различных объектов и систем. Основная цель САПР – это повышение производительности труда проектировщиков, улучшение точности и качества проектных решений, а также снижение временных и финансовых затрат на проектирование. Принципы работы САПР включают генерацию и обработку проектных данных, автоматизацию чертежей и моделей, симуляцию и анализ работы проектируемого объекта, а также интеграцию с другими системами и участниками проекта. САПР позволяет автоматизировать создание чертежей и 3D-моделей, а также производить симуляции для выявления потенциальных проблем и слабых мест на стадии проектирования [3].

Среди популярных программных решений для САПР можно выделить AutoCAD, Revit, Civil 3D, Tekla Structures, ArchiCAD и Bentley Systems (MicroStation). Эти программы активно используются в строительной отрасли Туркменистана. AutoCAD является универсальным инструментом для проектирования конструкций, коммуникаций, планировки зданий и объектов инфраструктуры. Revit, в свою очередь, применяется для создания BIM-моделей, что позволяет интегрировать все данные о проекте в единую модель, повышая точность и эффективность проектирования. Civil 3D используется для проектирования объектов инфраструктуры, таких как дороги и мосты, а Tekla Structures – для проектирования строительных конструкций. ArchiCAD и MicroStation также являются важными инструментами для архитекторов и инженеров, обеспечивая создание точных цифровых моделей и интеграцию с другими проектными системами.

Применение российской программного обеспечения в области ТИМ

В рамках исследования было рассмотрено использование российских программных продуктов в области ТИМ. Например, платформа «ТехноНИКОЛЬ BIM» активно используется в России для расчёта энергоэффективности зданий и автоматизации выбора строительных материалов. Программа CSC Orion применяется для расчёта кон-

структивных систем и позволяет интегрировать свои данные с другими САПР-системами.

В перспективе возможно внедрение этих решений в строительные проекты Туркменистана, особенно в условиях импортозамещения и необходимости локализации цифровых решений.

Внедрение САПР в строительные проекты Туркменистана предоставляет целый ряд преимуществ. Одним из главных преимуществ является повышение точности проектных решений, поскольку с помощью САПР проектировщики могут в реальном времени проверять и корректировать проектные ошибки. Также использование САПР значительно ускоряет процесс проектирования и сокращает его сроки, что в условиях туркменского строительного рынка, где важно быстро реагировать на изменения, является значимым фактором. Кроме того, системы автоматизированного проектирования помогают снизить затраты на проектирование и строительство, оптимизируя использование строительных материалов и предотвращая ошибки, которые могут возникнуть при ручном проектировании. Также САПР улучшает координацию между различными специалистами и повышает качество строительства.

Применение искусственного интеллекта в строительстве начало активно развиваться в середине 2010-х годов, и его развитие ускорилося после 2020 года благодаря усовершенствованию алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных. ИИ уже активно используется для оптимизации различных этапов строительного процесса, включая проектирование, планирование, мониторинг строительных площадок и прогнозирование рисков. В 2023 году мировой рынок ИИ в строительстве оценивался в 2,1 млрд долларов США, а к 2030 году прогнозируется его рост до 8,3 млрд долларов, что свидетельствует о высоких темпах цифровой трансформации отрасли [4].

ИИ активно используется для проектирования с применением генеративного дизайна, который позволяет создавать более оптимизированные архитектурные решения, а также для планирования строительства, где платформы типа Alice Technologies помогают сократить сроки выполнения проектов на 15–20 %. В мониторинге строительных площадок используется система Tencent AI Construction, которая анализирует фотографии и видео со стройплощадок, выявляя нарушения техники безопасности с точностью до 95 %.

В Туркменистане использование ИИ в строительстве пока ограничено, однако в будущем ожидается значительное увеличение доли цифровых решений.

ИИ также помогает прогнозировать риски и управлять строительными ресурсами. Внедрение таких технологий позволяет значительно снизить задержки строительства, уменьшить перерасход бюджета и повысить безопасность на стройках. Китай и Россия активно используют ИИ для управления строительными проектами, а в Туркменистане такие технологии пока только тестируются, но в ближайшие годы предполагается их более широкое внедрение [5].

В условиях цифровой трансформации строительной отрасли Туркменистана применение современных технологий, таких как системы автоматизированного проектирования и искусственный интеллект, становится ключевым фактором повышения эффективности проектов.

Эти технологии позволяют оптимизировать процессы проектирования, строительства и эксплуатации объектов, сокращая сроки выполнения работ, снижая затраты и повышая качество строительства. Внедрение САПР и ИИ позволит значительно улучшить координацию между различными участниками проекта, повысить точность проектных решений и ускорить процесс реализации строительных объектов [6].

Для успешного внедрения этих технологий необходимо развивать инфраструктуру цифровых решений, обучать специалистов в области САПР и ИИ, создавать совместные проекты с международными технологическими компаниями и инвестировать в разработку отечественных решений. Важно также внедрять пилотные проекты для тестирования технологий и оценки их эффективности, что поможет оптимизировать процессы и значительно повысить продуктивность строительных компаний в Туркменистане.

В последние десятилетия мировая строительная отрасль претерпевает значительные изменения благодаря внедрению современных цифровых технологий. Одними из наиболее революционных технологий стали системы автоматизированного проектирования и искусственный интеллект. Эти технологии не только повышают эффективность строительства, но и делают его более безопасным, экономичным и экологически устойчивым. В Туркменистане, как и в других развивающихся странах, цифровизация строительной отрасли открывает новые возможности для повышения качества и ускорения процессов в строительстве. Однако, для того чтобы интегрировать эти передовые технологии в локальные реалии, необходимо учитывать особенности рынка, законодательные ограничения и готовность инфраструктуры к внедрению таких решений.

Научно-исследовательская часть

В рамках настоящего исследования были разработаны и применены математические модели оптимизации сроков проектирования и строительства на основе интеграции САПР и технологий искусственного интеллекта. Была проведена серия вычислительных экспериментов, направленных на оценку эффективности автоматизированного проектирования при использовании ИИ для генерации проектных решений.

Для прогнозирования сроков реализации проектов использовались алгоритмы машинного обучения (Random Forest, XGBoost), обученные на исторических данных по 30 крупным строительным проектам в Туркменистане. Ошибка прогноза составила менее 5 %, что свидетельствует о высокой точности моделей.

Также была разработана модель оптимизации логистики строительных материалов с использованием ИИ, которая позволила снизить затраты на транспортировку на 12–15 % за счёт рационального планирования маршрутов и графика поставок [7].

Результаты

Мировая строительная индустрия уже активно использует САПР и ИИ для создания и реализации проектов. Примеры успешной интеграции этих технологий демонстрируют их потенциал для решения различных задач, таких как улучшение проектирования, сокращение сроков строительства, снижение затрат и повышение качества.

Одним из ярких примеров использования ИИ в строительстве является использование генеративного проектирования в архитектурной сфере. Программное обеспечение, использующее ИИ, способно генерировать множество проектных решений на основе заданных параметров, таких как площадь, материалы, нагрузки и эстетические требования. Это позволяет архитекторам создавать инновационные и высокоэффективные решения, которые трудно было бы разработать вручную. Например, компания Autodesk использовала генеративное проектирование для создания зданий, которые оптимизируют использование пространства и материалов, а также имеют отличные экологические характеристики. Такие методы успешно применяются в проектировании небоскрёбов, общественных зданий и жилых комплексов [8].

В крупных международных проектах, таких как строительство аэропортов, стадионов и многофункциональных комплексов, широко используется информационное моделирование зданий в сочетании с ИИ. Примером успешного применения является проект нового аэропорта в Дубае (Dubai International Airport), где BIM использовался для создания 3D-моделей аэропорта, включая все инженерные системы. Это позволило значительно сократить время на проектирование и строительство, а также уменьшить количество ошибок и дефектов.

В некоторых проектах ИИ используется для мониторинга строительных объектов в реальном времени с помощью дронов, сенсоров и камер. Например, на строительстве огромных инфраструктурных объектов в США и Европе ИИ помогает в реальном времени отслеживать ход работ, выявлять потенциальные риски и делать предложения по улучшению процессов. Также на строительных площадках анализируются данные с сенсоров о состоянии материалов и конструкций, что позволяет прогнозировать возможные проблемы и снижать их вероятность. Одним из таких примеров является строительство комплекса зданий в Лондоне, где ИИ системы мониторинга помогли избежать множества неожиданных сбоев и сэкономить средства [9].

Одним из примеров успешной интеграции САПР и ИИ является проектирование и строительство объектов на основе оптимизации логистики и планирования. В некоторых проектах, таких как строительство инфраструктуры на основе тендеров в Сингапуре, ИИ помогает анализировать множество факторов (доступность материалов, персонала, погодные условия) и автоматически адаптировать график выполнения работ. Это позволяет избежать задержек и перепланировать работы так, чтобы проект был завершён в срок и в пределах бюджета.

Одним из наиболее ярких примеров использования ИИ в строительной отрасли является управление строительными ресурсами. Например, в строительстве крупных жилых комплексов в Китае ИИ использовался для прогнозирования потребности в материалах, расчёта необходимого объёма рабочей силы и оптимизации доставки строительных материалов. Благодаря ИИ удалось существенно снизить перерасход материалов, улучшить координацию между поставщиками и строительными компаниями, а также минимизировать простои на строительных площадках [10].

Туркменистан как страна с развивающейся строительной отраслью имеет возможность использовать передовой международный опыт в области цифровых технологий и ИИ для модернизации своей инфраструктуры. Адаптация САПР и ИИ в строительной отрасли Туркменистана потребует ряда шагов, таких как улучшение инфраструктуры, подготовка специалистов и сотрудничество с международными компаниями.

Приведём примеры комплексного применения САПР и ИИ в Туркменистане. В 2023 году на строительной площадке жилого комплекса «Аркадаг» был протестирован интеграционный подход к использованию САПР и ИИ:

- BIM-модель объекта создавалась в Revit;
 - ИИ-алгоритмы на основе нейросети YOLO использовались для анализа видео с дронов и выявления нарушений техники безопасности;
 - сроки завершения этапов прогнозировались с помощью модели машинного обучения на основе данных по аналогичным проектам.
- В результате внедрения наблюдалось:
- сокращение времени на исправление ошибок на 28 %;
 - повышение прозрачности проекта;
 - снижение количества аварийных ситуаций на 22 %.

Для успешной адаптации международного опыта в строительстве с использованием САПР и ИИ необходимо разработать и внедрить соответствующие законодательные и нормативные акты. Это включает в себя стандарты и протоколы для обмена данными, правовые рамки для защиты интеллектуальной собственности, а также определение роли государства в стимулировании цифровизации. Важно также разработать инициативы, направленные на снижение налоговой нагрузки для компаний, которые внедряют новые технологии [11].

Для успешной интеграции САПР и ИИ в строительные проекты необходимо обучать специалистов в области архитектуры, инженерии, проектирования и управления строительными процессами. Важно создать программы обучения, которые будут соответствовать мировым стан-

Параметр	Россия	Китай	Туркменистан
Популярные САПР	AutoCAD, Revit, ArchiCAD, Civil 3D	Glodon, AutoCAD, Revit, Bentley Systems	AutoCAD, Revit (на начальном этапе), ArchiCAD
Степень внедрения BIM	Внедрение активно поддерживается государством, но присутствуют барьеры	Высокий уровень распространения, BIM обязателен на крупных проектах	Внедрение только начинается
Образовательные программы	Инженерные вузы активно обучают работе с САПР	Государственная поддержка, обучение BIM в технических вузах	Внедрение образовательных курсов только начинается
Автоматизация строительства	Средний уровень, развитие роботизированных технологий	Высокий уровень автоматизации, внедрение ИИ и дронов	Ограниченное применение автоматизированных систем

Табл. 1. Развитие САПР в строительстве: Россия, Китай и Туркменистан
Tab. 1. CAD development in construction: Russia, China and Turkmenistan

Направление применения ИИ	Россия	Китай	Туркменистан
Оптимизация проектирования	Использование ИИ в крупных проектных бюро	Массовое внедрение алгоритмов ИИ для автоматизации проектирования	Только начало внедрения
Прогнозирование рисков	Применение аналитических платформ на основе ИИ	Использование Big Data и ИИ для предотвращения аварий	Отсутствует или находится в разработке
Управление ресурсами	Автоматизированные системы управления стройматериалами	Широкое применение дронов и сенсоров IoT	Внедрение только планируется
Использование роботов	Применение ограничено, но развивается	Высокий уровень роботизации строительных процессов	Пока не применяется

Табл. 2. Искусственный интеллект в строительстве: сравнительный анализ
Tab. 2. Artificial intelligence in construction: a comparative analysis

Задача	Метод решения	Результат
Прогнозирование сроков строительства	Алгоритм Random Forest, обученный на данных предыдущих проектов	Точность прогноза – 95 %, снижение задержек – 20 %
Обнаружение коллизий в проектной документации	Интеграция Revit + ИИ-модель анализа конфликтов	Выявлено 47 % дополнительных коллизий, не найденных вручную
Управление логистикой стройматериалов	ИИ-оптимизация маршрутов доставки	Снижение затрат на транспортировку – 15 %
Контроль качества на площадке	Анализ видеопотока с помощью компьютерного зрения	Повышение безопасности – 30 %, снижение брака – 25 %

Табл. 3. Результаты комплексного использования САПР и ИИ
Tab. 3. Results of the integrated use of CAD and AI

дартам и использовать современные цифровые инструменты. Внедрение этих технологий потребует массового обучения строительных работников, а также развития специализированных учебных центров и курсов [12].

В Туркменистане активно развиваются крупные строительные проекты, такие как жилые комплексы, инфраструктурные объекты и транспортные магистрали. Адаптация передового опыта в строительстве потребует модернизации строительной инфраструктуры, включая внедрение дронов для мониторинга, сенсоров для контроля состояния конструкций и установку камер для визуального контроля. Важно обеспечить доступность высокоскоростного интернета и создание цифровых платформ для управления проектами в реальном времени.

Одним из эффективных способов адаптации международного опыта в Туркменистане является сотрудничество с ведущими мировыми компаниями в области САПР и ИИ. Туркменистан может заключить стратегические партнёрства с такими компаниями, как Autodesk, Bentley, Dassault Systèmes, IBM и другими, что позволит быстро внедрить передовые разработки в сферу строительства и инженерии.

На одном из пилотных проектов – строительстве жилого комплекса в Ашхабаде – была внедрена система Revit в сочетании с алгоритмами ИИ, обрабатывающими данные с дронов и камер наблюдения. Это позволило сократить время проектирования на 22 %, сократить количество ошибок и переделок на 30 %, повысить точность расчёта объёмов работ до 98 %. Программа Revit использовалась для создания BIM-модели, а алгоритмы ИИ анализировали состояние объекта в режиме реального времени, выявляя отклонения от проектных параметров и предлагая корректировки.

В ходе исследований были получены следующие результаты комплексного использования САПР и ИИ (таблица 3).

При использовании ИИ в строительстве были определены следующие целевые функции:

1. Минимизация временных затрат:

$$T_{мин} = \sum n t_i \cdot w_i,$$

где t_i – продолжительность i -го этапа, w_i – весовой коэффициент.

2. Оптимизация расхода материалов:

$$M_{опт} = \sum V_j / \text{план} \sum V_j,$$

где V_j – фактический расход материала, $V_j / \text{план}$ – запланированный [13].

Заключение

Прогнозируя будущее цифрового строительства в Туркменистане, можно выделить несколько ключевых трендов, которые окажут значительное влияние на отрасль в ближайшие десятилетия. В ближайшие годы Туркменистан, вероятно, будет активно внедрять САПР и ИИ на всех этапах строительства – от проектирования до эксплуатации зданий. Применение этих технологий позволит значительно повысить эффективность и скорость выполнения строительных проектов, снизить затраты и улучшить качество строительства. Технологии, такие как генеративное проектирование и BIM, будут всё более активно использоваться в крупномасштабных проектах. В Туркменистане, как и в других странах региона, развивается концепция «умных городов», которые используют инновационные технологии для управления инфраструктурой. В ближайшие годы можно ожидать рост использования САПР и ИИ в проектировании и управлении этими «умными» объектами. Туркменистан активно развивает энергетическую и транспортную инфраструктуру, и в этих проектах использование цифровых технологий будет иметь ключевое значение для повышения их эффективности и устойчивости [14].

Ожидается, что в ближайшие годы большинство крупных строительных компаний Туркменистана перейдут к полному цифровому управлению проектами, что позволит повысить точность и прозрачность строительства. Внедрение облачных технологий, использование дронов и сенсоров, а также использование ИИ для анализа больших данных станет обычной практикой. Это создаст новые возможности для предприятий, а также повысит конкурентоспособность на мировом рынке.

Цифровизация и внедрение ИИ-технологий позволят не только оптимизировать затраты на строительство, но

и повысить устойчивость строительных объектов, минимизировать риски и повысить безопасность. Ожидается, что в будущем благодаря этим технологиям строительные

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебрякова, Ю. Иван Волинкин: Строительная отрасль формирует порядка 10 % ВВП Туркменистана / Ю. Серебрякова // Вестник. Строительство. Архитектура. Инфраструктура : [интернет-ресурс]. – 2024. – URL: <https://vestnikstroy.ru/articles/building/ivan-volynkin-stroitel'naya-otrasl-formiruet-poryadka-10-vvp-turkmenistana/>.

2. Рахманов, П. А. Автоматизация в строительной отрасли: вызовы и перспективы / П. А. Рахманов, С. С. Бекиев, М. Р. Гуртов // Вестник науки. – 2024. – Т. 4, № 5 (74). – С. 1778–1781. – URL: <https://www.vestnik-nauki.rf/article/15071>.

3. Сахедов, О. Цифровизация и цифровые технологии в строительстве: революция в индустрии и ключевые преимущества / О. Сахедов, А. Оразхуммиев, Р. Ушаков // Вестник науки. – 2024. – Т. 2, № 7 (76). – С. 479–481. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-i-tsifrovye-tehnologii-v-stroitelstve-revolyutsiya-v-industrii-i-klyuchevye-preimuschestva>.

4. Иванов, И. Искусственный интеллект будет проектировать все типовые проекты в строительстве к 2030 г. // ComNews: новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещания и ИТ : [интернет-ресурс]. – 29.11.2024. – URL: https://www.comnews.ru/content/236587/2024_w48/1008/iskusstvennyy-intellekt-budet-proektirovat-vse-tipovye-proekty-stroitelstve-k-2030-g.

5. Жарков, Н. В. AutoCAD 2020 / Н. В. Жарков, М. В. Финков, Р. Г. Прокди ; ред. М. В. Фиников. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2020. – 640 с. – (Полное руководство).

6. BIM (Building Information Modeling) Turkmenistan // Silicon Valley Infomedia Pvt. Ltd. : [интернет-ресурс]. – URL: <https://www.siliconinfo.com/building-information-modelling/turkmenistan-cad-bim-2d-drafting-bim-3d-modelling-services.html>.

7. Alsofiani, M. A. Digitalization in Infrastructure Construction Projects: A PRISMA Based Review of Benefits and Obstacles / M. A. Alsofiani. – DOI <https://doi.org/10.48550/>

REFERENCES

1. Serebryakova, Yu. Ivan Volynkin: Stroitel'naya otrasl' formiruet poryadka 10 % VVP Turkmenistana [Ivan Volynkin: The construction industry generates about 10% of Turkmenistan's GDP] / Yu. Serebryakova // Vestnik. Stroitel'stvo. Arkhitektura. Infrastruktura : internet-resurs [The messenger. Construction. Architecture. Infrastructure : Internet resource]. – 2024. – URL: <https://vestnikstroy.ru/articles/building/ivan-volynkin-stroitel'naya-otrasl-formiruet-poryadka-10-vvp-turkmenistana/>.

2. Rakhmanov, P. A. Avtomatizatsiya v stroitel'noj otrasli: vyzovy i perspektivy [Automation in the construction industry: challenges and prospects] / P. A. Rakhmanov, S. S. Bekiev, M. R. Gurtov // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2024. – Vol. 4, No. 5 (74). – Pp. 1778–1781. – URL: <https://www.vestnik-nauki.Russian Federation/article/15071>.

3. Sakhedov, O. Tsifrovizatsiya i tsifrovye tekhnologii v stroitel'stve: revolyutsiya v industrii i klyuchevye preimushchestva [Digitalization and digital technologies in construction: a revolution in industry and key advantages] / O. Sakhedov, A. Orazhummiev, R. Ushakov // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2024. – Vol. 2, No. 7 (76). – Pp. 479–481. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-i-tsifrovye-tehnologii-v-stroitelstve-revolyutsiya-v-industrii-i-klyuchevye-preimuschestva>.

4. Ivanov, I. Iskusstvennyj intellekt budet proektirovat' vse tipovye projekty v stroitel'stve k 2030 g. [Artificial intelligence will design all standard projects in construction by 2030] // ComNews: novosti tsifrovoj transformatsii, telekommunikatsij, veshhaniya i IT : internet-resurs [ComNews: news of digital

компании смогут значительно снизить количество аварий, а также улучшить эксплуатационные характеристики зданий [15].

arXiv.2405.16875 // arXiv. – 27 May 2024.

8. Kymmell, W. Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations / W. Kymmell– McGraw-Hill, 2008.

9. What are the benefits of BIM in airport construction for architects? // PBC Today : [Интернет-ресурс]. – 11.04.2024. – URL: <https://www.pbctoday.co.uk/news/digital-construction/bim-news/what-are-the-benefits-of-bim-in-airport-construction-for-architects/124256/>.

10. Mordue, S. BIM for Dummies / S. Mordue, P. Swaddle, D. Philp. – John Wiley & Sons Limited, 2015. – 416 p.

11. UNDP enhances cooperation with the Government of Turkmenistan in digital transformation // UNDP Turkmenistan : [официальный сайт]. – 18.03.2022. – URL: <https://www.undp.org/turkmenistan/press-releases/undp-enhances-cooperation-government-turkmenistan-digital-transformation>.

12. Мурадова, А. О. Автоматизация в строительной отрасли: вызовы и перспективы / А. О. Мурадова, Н. А. Худайбердиева, С. Гарлыев // Вестник науки. – 2024. – Т. 2, № 5 (74). – С. 840–843.

13. 2025: Turkmenistan to Build New Social and Infrastructure Facilities // Business.com.tm : BT Business Turkmenistan [Электронный ресурс]. – 08.02.2025. – URL: <https://business.com.tm/post/13076/2025-turkmenistan-to-build-new-social-and-infrastructure-facilities>.

14. Arkadag city awarded certificates for infrastructure development and ecology // Turkmenportal.com : [Интернет-ресурс]. – 19.12.2024. – URL: <https://turkmenportal.com/en/blog/85997/arkadag-city-awarded-certificates-for-infrastructure-development-and-ecology>.

15. Ivanov, L. P. Digital Transformation in Turkmenistan: From Strategy to Action / L. P. Ivanov, G. Volmamedova, A. Soni // UNDP Turkmenistan : [официальный сайт]. – 22.11.2024. – URL: <https://www.undp.org/turkmenistan/blog/digital-transformation-turkmenistan-strategy-action>.

transformation, telecommunications, broadcasting and IT : online resource]. – 29.11.2024. – URL: https://www.comnews.ru/content/236587/2024_w48/1008/iskusstvennyy-intellekt-budet-proektirovat-vse-tipovye-proekty-stroitelstve-k-2030-g.

5. Zharkov, N. V. AutoCAD 2020 [AutoCAD 2020] / N. V. Zharkov, M. V. Finkov, R. G. Prokdi ; edited by M. V. Finikov. – St. Petersburg : Science and Technology, 2020. – 640 p. – (Polnoe rukovodstvo [Complete guide]).

6. BIM (Building Information Modeling) Turkmenistan // Silicon Valley Infomedia Pvt. Ltd. : [Internet resource]. – URL: <https://www.siliconinfo.com/building-information-modelling/turkmenistan-cad-bim-2d-drafting-bim-3d-modelling-services.html>.

7. Alsofiani, M. A. Digitalization in Infrastructure Construction Projects: A PRISMA Based Review of Benefits and Obstacles / M. A. Alsofiani. – DOI <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.16875> // arXiv. – 27 May 2024.

8. Kymmell, W. Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations / W. Kymmell– McGraw-Hill, 2008.

9. What are the benefits of BIM in airport construction for architects? // PBC Today : [Internet resource]. – 11.04.2024. – URL: <https://www.pbctoday.co.uk/news/digital-construction/bim-news/what-are-the-benefits-of-bim-in-airport-construction-for-architects/124256/>.

10. Mordue, S. BIM for Dummies / S. Mordue, P. Swaddle, D. Philp. – John Wiley & Sons Limited, 2015. – 416 p.

11. UNDP enhances cooperation with the Government of Turkmenistan in digital transformation // UNDP Turkmenistan :

[official website]. – 18.03.2022. – URL: <https://www.undp.org/turkmenistan/press-releases/undp-enhances-cooperation-government-turkmenistan-digital-transformation>.

12. Muradova, A. O. Avtomatizatsiya v stroitel'noj otrasli: vyzovy i perspektivy [Automation in the construction industry: challenges and prospects] / A. O. Muradova, N. A. Khudaiberdieva, S. Garlyev // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. – 2024. – Vol. 2, No. 5 (74). – Pp. 840–843.

13. 2025: Turkmenistan to Build New Social and Infrastructure Facilities // Business.com.tm : BT Business Turkmenistan [Internet resource]. – 08.02.2025. – URL: [https://business.com](https://business.com.tm/post/13076/2025-turkmenistan-to-build-new-social-and)

УДК 69.009.1

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_27

Организационные предложения для повышения эффективности процесса выполнения функций технического заказчика при вводе объекта в эксплуатацию

Organizational Proposals to Improve the Efficiency of the Process of Performing the Functions of a Technical Customer During the Commissioning of a Facility

Топчий Дмитрий Владимирович

Доктор технических наук, доцент, профессор, заведующий кафедрой «Испытания сооружений», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, TopchiyDV@mgsu.ru

Topchiy Dmitriy Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Head of the Department of Testing of Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, TopchiyDV@mgsu.ru

Лавреняк Илья Вячеславович

Аспирант кафедры «Испытания сооружений», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, 89636736614@mail.ru

Lavrenyak Ilya Vyacheslavovich

Postgraduate student of the Department of Testing of Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, 89636736614@mail.ru

Аннотация. Данное исследование посвящено решению актуальной проблемы недостаточной эффективности и отсутствия унифицированных подходов к организации деятельности технического заказчика, препятствующей своевременному вводу объектов в эксплуатацию.

Отмечается фрагментарность существующих рекомендаций, отсутствие единого регламента, унифицированного нормативно-правового порядка и методики проведения процесса подготовки к вводу в эксплуатацию.

На основе изучения научных трудов и практического опыта предложены специфические организационные предложения при использовании параметрической модели. Исследуется необходимость их использования при выявлении отклонений от критериев эффективности.

Abstract. This study is devoted to solving the urgent problem of insufficient efficiency and lack of unified approaches to organizing the activities of the technical customer, which prevents the timely commissioning of facilities.

The fragmentation of existing recommendations, the absence of a single regulation, a unified regulatory and legal procedure and methodology for conducting the process of preparation for commissioning are noted.

Based on the study of scientific papers and practical experience, specific organizational proposals are proposed when using a parametric model. The need for their use in identifying deviations from the efficiency criteria is studied.

infrastructure-facilities.

14. Arkadag city awarded certificates for infrastructure development and ecology // Turkmenportal.com : [Internet resource]. – 19.12.2024. – URL: <https://turkmenportal.com/en/blog/85997/arkadag-city-awarded-certificates-for-infrastructure-development-and-ecology>.

15. Ivanov, L. P. Digital Transformation in Turkmenistan: From Strategy to Action / L. P. Ivanov, G. Volmamedova, A. Soni // UNDP Turkmenistan : [official website]. – 22.11.2024. – URL: <https://www.undp.org/turkmenistan/blog/digital-transformation-turkmenistan-strategy-action>.

В качестве примера рассмотрены организационные предложения по критериям функций технического заказчика, имеющим значимый вес по результатам экспертного опроса, на этапе строительства, в частности, касающиеся графика производства работ и ведения сопоставительной работы между проектной документацией (П), рабочей документацией (РД) и фактическим исполнением, отражённым в исполнительной документации (ИД).

Ключевые слова: организационные предложения; технический заказчик; ввод объекта в эксплуатацию; параметрическая модель; показатель эффективности; объект строительства; управление строительством; передача на баланс; жизненный цикл.

As an example, organizational proposals for the criteria of the functions of the technical customer, which have significant weight according to the results of the expert survey, at the construction stage, in particular, concerning the schedule of work and comparative work between the design documentation, working documentation and actual performance reflected in the executive documentation, are considered.

Keywords: organizational proposals; technical customer; commissioning of the facility; parametric model; performance indicator; construction facility; construction management; transfer to balance sheet; life cycle.

Введение

На сегодняшний день существуют неясность и фрагментарность рекомендаций в отношении использования научно обоснованного принципа формирования организационной структуры и разработки организационно-технических решений, которые необходимо осуществлять техническому заказчику для своевременного ввода объекта в эксплуатацию [1].

В рамках решения этой задачи отмечалась значимость структурирования процесса по временным этапам и функциональным областям в повышении прозрачности, эффективности и контроля над процессом подготовки к вводу объекта в эксплуатацию [2].

При проведении экспертного опроса подтвердился тот факт, что в настоящее время отсутствуют унифицированный нормативно-правовой порядок и методика проведения процесса подготовки к вводу в эксплуатацию строительных объектов на всех этапах их жизненного цикла [2], и также подтвердилась актуальность интеграции процесса ввода в эксплуатацию в общую систему управления строительством.

На современном этапе развития строительной отрасли наблюдается значительная взаимосвязь с новыми информационными технологиями. Это включает в себя использование автоматизированных систем проектирования (САПР), систем поддержки принятия решений, экспертных систем, а также методов имитационного моделирования и нейросетевых технологий. Такие инструменты позволяют более эффективно анализировать и оптимизировать строительные процессы, обеспечивая высокий уровень автоматизации и улучшая качество принимаемых решений в проектировании и управлении строительством [3].

Материалы и методы

Исследование проводилось с целью повышения эффективности функций технического заказчика, особенно в процессе подготовки и ввода объектов строительства в эксплуатацию. Методологическая основа включала системный комплексный подход к анализу сложных производственно-динамических систем в строительстве. Применялся принцип иерархичности, фундаментальный для системотехники, который подразумевал структурирование исследуемых систем, их деление на уровни и подсистемы, выделение временных этапов как организационной основы и увязки процедур.

Систематизация и анализ данных, а также общетеоретические методы познания, включая анализ, синтез,

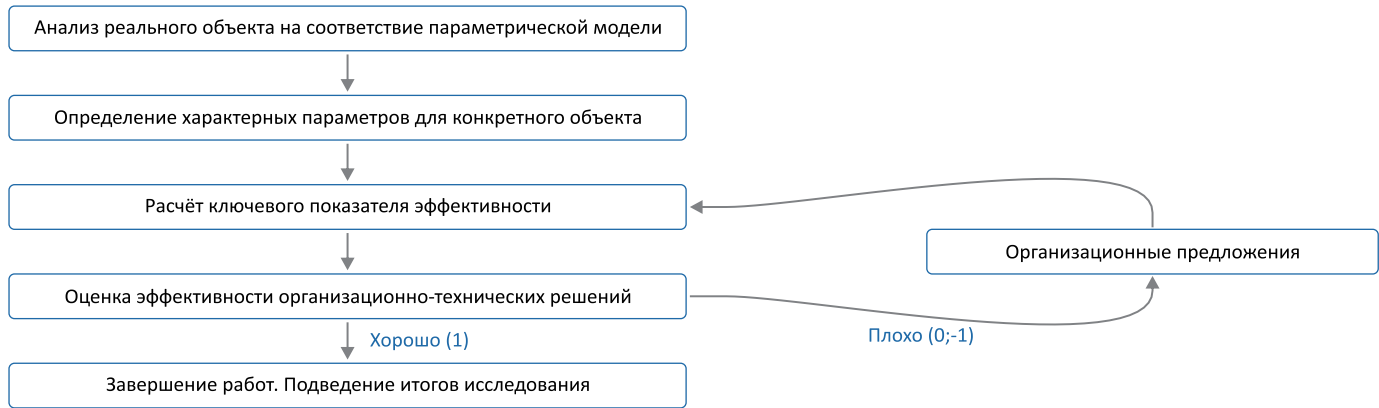


Рис. 1. Последовательность действий при использовании параметрической модели
Fig. 1. Sequence of actions when using a parametric model

обобщение и сопоставление, применялись для определения проблематики исследования и подхода к сбору данных.

Результаты

Изучение научных трудов в области организации и технологии управления строительным производством показало глубокую теоретическую проработку системного комплексного подхода в решении проблем обеспечения устойчивости сложных производственно-динамических систем в строительстве с целью выбора организационно-технических решений [4; 5; 6].

Комплексный анализ производственных процессов в рамках крупномасштабного строительного проекта предполагает объединение аналогичных или смежных процессов в единые производственные группы, или модули. Этот подход способствует оптимизации параметров проекта, позволяя более эффективно управлять ресурсами и повышать общую производительность [7].

Практический опыт показывает, что при ведении техническими заказчиками нескольких объектов различного масштаба проблема нахождения оптимального выбора организационно-технических решений приобретает ещё большую значимость, что требует более тщательного подхода к проектированию и реализации строительных процессов.

Отсутствие стандартизированного регламента для технического заказчика/застройщика, а также унифицированного нормативно-правового порядка и методики проведения процесса подготовки к вводу в эксплуатацию создаёт сложности в планировании и управлении как на ранних этапах жизненного цикла объекта строительства [8], так и на последующих.

Применив тот же ключевой методологический подход для анализа, проектирования и управления, каким является иерархичность в рамках системотехники, и она же является фундаментальным принципом внутреннего устройства сложных и больших систем, подразумевающим их деление на уровни и подсистемы, выделяя этапы как организационную основу для формирования задач, стоящих перед участниками строительства, авторы проводили увязку процедур между собой и разработку базовой организационно-управленческой модели [3].

Научная новизна исследования заключается в определении организационных предложений для повышения эффективности в процессе выполнения функций технического заказчика при вводе объекта в эксплуатацию. Применение техническим заказчиком параметрической

Организационно-технические решения	Критерий	Значения выполнения параметра по заданному критерию			Организационные предложения	
		1	0	-1	-1 → 0	0 → 1
Выбор подрядной организации на конкурсной основе	Опыт строительства аналогичных объектов	Опыт строительства 3 и более аналогичных объектов	Опыт строительства 1-2 аналогичных объектов	Опыт строительства аналогичных объектов отсутствует	Согласование на субподрядные работы организации с необходимым опытом	Усиление надзора со стороны технического заказчика путём введения стороннего строительного контроля и научно-технического сопровождения
Подготовка отчётности о ходе строительства	Наличие отчётности о ходе строительства и о выполнении графиков производства работ	Отчётность осуществляется в полном объёме	Отчётность осуществляется в неполном объёме	Отчётность не ведётся	Организовать процесс ведения отчётной документации	Исключить формальный подход к ведению отчётной документации
Установление требований к срокам строительства	Наличие графика производства работ (ГПР)	ГПР согласован и актуален	ГПР неактуальный	Отсутствует согласованный ГПР	Разработать и согласовать график производства работ	Обеспечить своевременную актуализацию графика и предоставление в блок передачи на баланс
Обеспечение контроля качества строительного объекта	Внедрение системы контроля качества в строительный процесс	Система контроля качества введена в полном объёме	Система контроля качества введена в неполном объёме	Система контроля качества не внедрена	Разработать и ввести систему контроля качества	Исключить формальный подход к организации системы контроля качества
Получение разрешения соответствующих эксплуатирующих организаций на производство работ в зоне земель особого статуса, расположенных на строительной площадке	Наличие разрешения соответствующих эксплуатирующих организаций на производство работ	Разрешения эксплуатирующих организаций получены в полном объёме	Разрешения эксплуатирующих организаций получены в неполном объёме	Разрешения эксплуатирующих организаций не получены	Получить разрешения эксплуатирующих организаций	Наладить взаимодействие с эксплуатирующими организациями по получению разрешений на производство работ
Формирование и ведение авторским надзором сопоставительной работы между документациями стадии П, стадии РД и исполнительной документацией	Наличие актуальных сопоставительных сводов по всем шифрам документации	Сопоставительные ведомости ведутся в полном объёме	Сопоставительные ведомости ведутся в неполном объёме	Сопоставительная работа не производится	Организовать процесс ведения сопоставительных ведомостей	Обеспечить своевременную актуализацию сопоставительных ведомостей в соответствии с фактом выполненных работ
Проведение пуско-наладочных работ	Внедрение системы проведения ПНР в строительный процесс	Система проведения ПНР введена в полном объёме	Система проведения ПНР введена в неполном объёме	Система проведения ПНР не введена	Разработать и ввести систему проведения ПНР	Регламентировать правила составления типовых программ ПНР

Табл. 1. Организационные предложения для организационно-технических решений на этапе строительства
Tab. 1. Organizational proposals for organizational and technical solutions at the construction stage

модели для определённого объекта строительства хотя и позволяет констатировать достигнутый уровень эффективности в процентном выражении – не является достаточным условием для её повышения, что обуславливает необходимость разработки специфических организационных мер.

Общую структуру работы с техническим заказчиком при использовании параметрической модели можно проиллюстрировать следующим образом (рисунок 1).

Ключевой показатель эффективности получается из суммы показателей по всем параметрам [9]. Если критерий параметра не выполняется или выполняется не полностью (присвоены значения 0, -1), необходимо использовать организационные предложения для получения значения критерия параметра равного 1.

Рассмотрим организационные предложения для увеличения процента эффективности деятельности технического заказчика, полученного в результате обработки параметров с использованием параметрической модели. Для примера используем этап строительства как стадию

фактической реализации, особенно важную для ввода в эксплуатацию (таблица 1).

Для примера рассмотрим критерии и организационные предложения для функций технического заказчика, которые обладают наиболее значимым весом на данном этапе по результатам экспертного опроса:

1. Таблица 1, п. 3. Установление требований к срокам строительства.

Критерий: наличие графика производства работ (ГПР). Интерпретация значений критерия:

1) ГПР согласован и актуален (1): этот вариант свидетельствует о высоком уровне планирования и контроля в проекте:

- согласован: означает, что все заинтересованные стороны (заказчик, подрядная организация, проектная организация, а также, при необходимости, другие участники) ознакомлены с графиком, согласны с его содержанием, сроками, ресурсами и последовательностью выполнения работ. Факт согласования обычно подтверждается подписями уполномоченных лиц;

– актуален: означает, что график отражает текущее состояние дел на строительной площадке, учитывает все произошедшие изменения, отклонения и своевременно корректируется. Актуальный ГПР является источником необходимой информации для работы блока подготовки к вводу в эксплуатацию и передаче на баланс.

2) ГПР неактуальный (0): данный вариант указывает на недостатки в управлении проектом, ГПР перестал отражать реальный ход работ на данный момент:

– это может быть связано с задержками, изменениями в проекте, неэффективным распределением ресурсов или отсутствием должного мониторинга и внесения корректировок. Неактуальный ГПР не может служить надёжной основой для принятия управленческих решений и прогнозирования сроков завершения проекта.

3) Отсутствует согласованный ГПР (–1): это наиболее негативный сценарий, указывающий на серьёзные проблемы в организации и планировании строительных работ:

– отсутствие согласованного графика означает, что у участников проекта нет единого понимания последовательности, продолжительности и взаимосвязи работ. Это ведёт к хаотичности действий, срывам сроков, перерасходу ресурсов и высокому риску неуспешного завершения проекта. Работа без утверждённого ГПР является нарушением базовых принципов управления строительством.

Согласованный и актуальный график производства работ является не просто инструментом контроля сроков строительства, но и фундаментальной основой для успешного и своевременного ввода объекта в эксплуатацию и его бесппроблемной передачи на баланс. Состояние ГПР напрямую коррелирует с уровнем рисков на завершающих этапах проекта. Инвестиции времени и ресурсов в качественное ведение ГПР на протяжении всего жизненного цикла строительства многократно окупаются за счёт предсказуемости, управляемости и снижения потерь при сдаче готового объекта [10].

В рамках организации разрабатывается регламент, формализующий процесс передачи информации обо всех изменениях в ГПР, значимых для решения задачи своевременного ввода в эксплуатацию и передачи в полном объёме объекта на баланс, в подразделение, ответственное за подготовку объекта к вводу в эксплуатацию. При получении информации об изменениях в ГПР сотрудники подразделения корректируют процессы своей работы, заблаговременно запрашивая актуальные документы с изменениями в проектно-сметной и инженерно-технической документации.

II. Таблица 1, п. 6. Формирование и ведение авторским надзором сопоставительной работы между документациями стадии П, стадии РД и исполнительной документацией.

Критерий: наличие актуальных сопоставительных ведомостей по всем шифрам документации.

На практике зачастую возникают расхождения между первоначальными проектными решениями (стадия П), детализированными рабочими чертежами (стадия РД) и фактическим исполнением, отражённым в исполнительной документации (ИД). Эти расхождения могут быть

обусловлены различными факторами: от объективной необходимости внесения изменений в ходе строительства до ошибок и недоработок на различных этапах проектирования и реализации.

Основные причины возникновения изменений на практике повторяются в той или иной мере [11]:

- 1) причины, зависящие от технического заказчика:
 - корректировка проектных решений, инициированные техническим заказчиком (инженерно-техническая оптимизация проекта со стороны технического заказчика);
 - необходимость выполнения дополнительных объёмов работ;

2) а также иные причины, обусловленные неоптимальными проектными решениями и некачественно подготовленной проектно-сметной и иной инженерно-технической документацией.

Отсутствие систематизированного контроля и формализованной фиксации таких изменений и соответствий приводит к существенным затруднениям при подготовке объекта к вводу в эксплуатацию. Формируется риск несоответствия объекта требованиям нормативно-технической документации, проектным решениям, что может повлечь за собой отказ в выдаче заключения о соответствии (ЗОС) и, как следствие, срыв сроков ввода, увеличение издержек и сложности при постановке объекта на баланс.

Организация процесса ведения сопоставительных ведомостей предполагает внедрение регламентированной процедуры, обязывающей службу авторского надзора (или иное уполномоченное подразделение технического заказчика) на систематической основе проводить сличение положений и технических решений, заложенных в проектной документации стадии П, детализированных документов стадии РД, с фактически реализованными и зафиксированными в ИД.

Создание и регулярное ведение сопоставительных ведомостей по всем шифрам (разделам) документации позволяет следующее (рисунок 2).

Таким образом, организационные предложения по формализации и систематизации процесса ведения сопоставительных ведомостей между стадиями П, РД и ИД си-

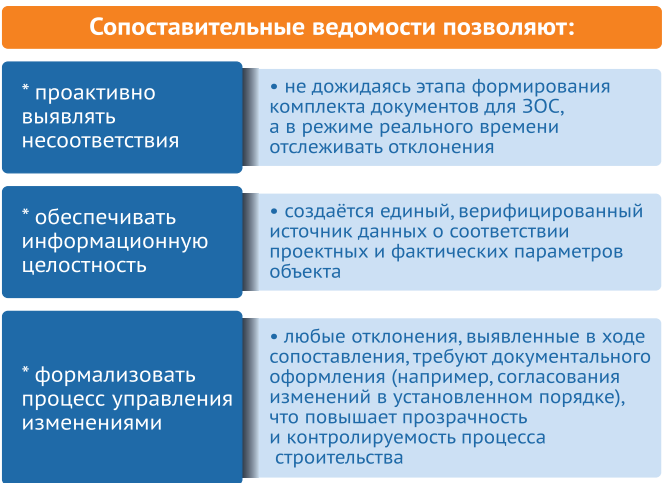


Рис. 2. Преимущества сопоставительных ведомостей превентивного контроля соответствия проектных решений фактическому исполнению
Fig. 2. Advantages of comparative statements of preventive control of compliance of design solutions with actual mplementation

лами авторского надзора являются научно обоснованной мерой. Их реализация направлена на повышение эффективности деятельности технического заказчика за счёт обеспечения превентивного контроля соответствия проектных решений фактическому исполнению, что является залогом своевременного и качественного ввода объекта строительства в эксплуатацию и его корректной передачи на баланс.

Заключение

Исследование подчёркивает необходимость в разработке и внедрении формализованных и унифицированных процедур для повышения эффективности деятельности технического заказчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распределение основных функций технического заказчика по этапам жизненного цикла строительства объекта / Д. В. Топчий, А. Я. Токарский, И. В. Лавреняк, А. А. Газдаров // Строительное производство. – 2024. – № 1. – С. 70–75.
2. Топчий, Д. В. Этапы выбора экспертной группы для оценки функций технического заказчика при вводе объекта в эксплуатацию / Д. В. Топчий, И. В. Лавреняк // Строительное производство. – 2024. – № 4. – С. 112–118.
3. Лapidus, А. А. Системно-комплексный метод реализации строительных проектов / А. А. Лapidus, И. Л. Абрамов // Наука и бизнес: пути развития. – 2017. – № 10 (76). – С. 39–42.
4. Лapidus, А. А. Устойчивость организационно-производственных систем в условиях рисков и неопределённости строительного производства / А. А. Лapidus, И. Л. Абрамов // Перспективы науки. – 2018. – № 6 (105). – С. 8–11.
5. Prochazkova, D. Risk Management at Technical Facilities Designing, Building and Commissioning / D. Prochazkova, J. Prochazka. – Praha, 2020. – 144 p.
6. Jari, Y. A. Integration of facility manager in planning, design, and execution of construction projects / Y. A. Jari, A. B. Abdulghafour // Journal of Umm Al-Qura University for

REFERENCES

1. Raspredelenie osnovnykh funktsij tekhnicheskogo zakazchika po etapam zhiznennogo tsikla stroitel'stva ob'ekta [Distribution of the main functions of the technical customer by stages of the life cycle of the construction of the facility] / D. V. Topchy, A. Ya. Tokarsky, I. V. Lavrenyak, A. A. Gazdarov // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 1. – Pp. 70–75.
2. Topchy, D. V. Ehtapy vybora ehkspertnoj gruppy dlya otsenki funktsij tekhnicheskogo zakazchika pri vvode ob'ekta v ehkspluatatsiyu [Stages of selecting an expert group for evaluating the functions of a technical customer during the commissioning of a facility] / D. V. Topchy, I. V. Lavrenyak // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 4. – Pp. 112–118.
3. Lapidus, A. A. Sistemno-kompleksnyj metod realizatsii stroitel'nykh proektov [System-complex method for the implementation of construction projects] / A. A. Lapidus, I. L. Abramov // Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and Business: Ways of Development]. – 2017. – No. 10 (76). – Pp. 39–42.
4. Lapidus, A. A. Ustoichivost' organizatsionno-proizvodstvennykh sistem v usloviyakh riskov i neopredelennosti stroitel'nogo proizvodstva [Sustainability of organizational and production systems in conditions of risks and uncertainty in construction production] / A. A. Lapidus, I. L. Abramov // Perspektivy nauki [Prospects of Science]. – 2018. – No. 6 (105). – Pp. 8–11.
5. Prochazkova, D. Risk Management at Technical Facilities Designing, Building and Commissioning / D. Prochazkova, J. Prochazka. – Praha, 2020. – 144 p.
6. Jari, Y. A. Integration of facility manager in planning, design, and execution of construction projects / Y. A. Jari, A. B. Abdulghafour // Journal of Umm Al-Qura University for Engineering

Приведены примеры организационных предложений, таких как формализация работы с графиком производства работ и систематическое ведение сопоставительных ведомостей, основанные на выявленных недостатках текущей практики и направленные на обеспечение своевременного и качественного ввода объектов в эксплуатацию, минимизацию рисков при передаче на баланс и в целом повышение управляемости строительного процесса.

Использование предложенных организационных мер в сочетании с разработанной в дальнейшем параметрической моделью для оценки эффективности сформирует комплексный подход к решению проблемы.

Engineering and Architecture. – 2024. – Vol. 15. – Pp. 503–516.
7. Лapidus, А. А. 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. Кузьмина, Т. К. Моделирование во времени процедур на этапе подготовки объекта к строительству. Построение базовой организационно-управленческой модели / Т. К. Кузьмина, П. В. Большакова, Д. Д. Зуева // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5 (77). – С. 414–423.
9. Каширцев, М. С. Разработка параметрической модели для организации научно-технического сопровождения при строительстве / М. С. Каширцев, Д. В. Топчий // Строительное производство. – 2020. – № 1. – С. 87–92.
10. Величко, В. В. Подготовка и планирование строительных проектов : учебное пособие / В. В. Величко, А. В. Иванов, И. Г. Забабурина. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2023. – 336 с. – (Управление строительными проектами).
11. Величко, В. В. Практика управления строительными проектами / В. В. Величко, И. Г. Забабурина, Г. В. Попков. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2024. – 394 с. – (Управление строительными проектами).

and Architecture. – 2024. – Vol. 15. – Pp. 503–516.
7. Lapidus, A. A. Povyshenie ehffektivnosti organizatsionnykh struktur pri stroitel'stve promyshlennyykh zdaniy [Improvement of the efficiency of organizational structures in the construction of industrial buildings] / A. A. Lapidus, O. V. Loginova, T. T. Alborov // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2021. – No. 12 (84). – Pp. 581–590.
8. Kuzmina, T. K. Modelirovanie vo vremeni protsedur na ehtape podgotovki ob'ekta k stroitel'stvu. Postroenie bazovoj organizatsionno-upravlencheskoj modeli [Time modeling of procedures at the stage of preparing an object for construction. Construction of a basic organizational and management model] / T. K. Kuzmina, P. V. Bolshakova, D. D. Zueva // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2021. – No. 5 (77). – Pp. 414–423.
9. Kashirtsev, M. S. Razrabotka parametriceskoj modeli dlya organizatsii nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya pri stroitel'stve [Development of a parametric model for organizing scientific and technical support in construction] / M. S. Kashirtsev, D. V. Topchiy // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – No. 1. – Pp. 87–92.
10. Velichko, V. V. Podgotovka i planirovanie stroitel'nykh proektov [Preparation and planning of construction projects] / V. V. Velichko, A. V. Ivanov, I. G. Zababurina. – Moscow : Goryachaya liniya – Telekom, 2023. – 336 p. – (Upravlenie stroitel'nyimi proektami [Construction Project Management]).
11. Velichko, V. V. Praktika upravleniya stroitel'nyimi proektami [Practice of construction project management] / V. V. Velichko, I. G. Zababurina, G. V. Popkov. – Moscow : Goryachaya liniya – Telekom, 2024. – 394 p. – (Upravlenie stroitel'nyimi proektami [Construction Project Management]).

Шашков Алексей Андреевич
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, shashkovaa@mgsu.ru

Shashkov Alexey
Candidate of Engineering Sciences, Associate 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, shashkovaa@mgsu.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос фактического максимального использования индустриализации при возведении железобетонных конструкций зданий и сооружений атомных электростанций (АЭС). Рассматриваются современные отечественные и зарубежные технологии индустриального (крупноблочного) возведения железобетонных конструкций АЭС. Приводятся данные о снижении продолжительности возведения и трудозатрат на основе обзора литературы.

Целью данного исследования является определение максимальной степени индустриализации возведения АЭС на примере вспомогательного реакторного здания проекта ВВЭР-ТОИ. В работе выявлены технологические и организационные факторы, ограничивающие применение индустриальных методов, такие как сложная геометрия конструкций, наличие проёмов и проходок, требования к грузоподъёмности кранового оборудования, а также необходимость высокой квалификации рабочих.

Abstract. The article considers the issue of the actual maximum use of industrialization in the construction of reinforced concrete structures of buildings and structures of nuclear power plants (NPPs). Modern domestic and foreign technologies of industrial (large-block) construction of reinforced concrete structures of NPPs are considered. Data on the reduction of the duration of construction and labor costs are provided based on a review of the literature.

The purpose of this study is to determine the maximum degree of industrialization of NPP construction using the example of an auxiliary reactor building of the VVER-TOI project. The study identifies technological and organizational factors that limit the use of industrial methods, such as complex geometry of structures, the presence of openings and penetrations, requirements for the lifting capacity of crane equipment, as well as the need

Введение
Индустриализация строительства направлена на сокращение продолжительности возведения зданий и сооружений. Сокращение продолжительности строительства особенно актуально для больших капиталоемких объектов, таких как атомные электростанции (АЭС). Соответствующее положение зафиксировано в стратегических целях Госкорпорации «Росатом» [1]. Поскольку в комплексе АЭС имеются массивные здания и сооружения из железобетона, сооружение которых находится на критическом пути сооружения, рассматривается в первую очередь проблема индустриализации железобетонных конструкций объектов АЭС, сокращение возведения которых оказывает прямое влияние на сроки сооружения всей станции.

Проблема индустриальных способов возведения железобетонных конструкций АЭС активно рассматривается не только российскими, но и зарубежными исследователями и отраслевыми ведомствами. Модульная индустриальная

На основе анализа конструктивно-компоновочных решений введён коэффициент индустриализации, отражающий долю конструкций, возводимых крупноблочным способом.

Результаты исследования показали, что реальное сокращение трудозатрат при использовании армоблоков составляет 23,1 %, что в 1,69 раза меньше теоретически возможного значения (39,0 %). Коэффициент индустриализации для перекрытий и стен составил 0,65 и 0,76 соответственно, что обусловлено различиями в их конфигурации и технологических ограничениях. Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных коэффициентов для прогнозирования трудозатрат и оптимизации ресурсного обеспечения строительства АЭС.

Ключевые слова: крупноблочное возведение; армоблок; коэффициент индустриализации; трудозатраты; продолжительность строительства.

for highly qualified workers. Based on the analysis of design and layout solutions, an industrialization coefficient is introduced, reflecting the share of structures erected using a large-block method. The results of the study showed that the actual reduction in labor costs when using reinforced concrete blocks is 23.1%, which is 1.69 times less than the theoretically possible value (39.0%). The industrialization coefficient for floors and walls was 0.65 and 0.76, respectively, which is due to differences in their configuration and technological limitations. The practical significance of the work lies in the possibility of using the obtained coefficients to predict labor costs and optimize resource provision for NPP construction.

Keywords: large-block construction; reinforced concrete block; industrialization coefficient; labor costs; construction duration.

технология возведения, заключающаяся в возведении стен или плит перекрытий за пределами площадки и их последующей транспортировке на строительную площадку, в некоторых случаях может сократить время и стоимость строительства [2; 3]. Одним из наиболее привлекательных преимуществ модульной конструкции является возможность изготовления большей её части параллельно с другими видами работ, что может оказать значительное влияние на график строительства при сохранении высокого уровня обеспечения качества [4].

Основными индустриальными конструкциями, применяемыми за рубежом, являются сталебетонные конструкции, где роль арматуры выполняют внешние стальные листы с приваренными анкерными устройствами. Эти листы также являются несъёмной опалубкой для бетонной смеси. Различают классические сталебетонные конструкции, которые представляют собой панели из плоских металлических листов с приваренными со внутренней стороны анкерными шпильками [5], а также тех-

нологию Steel Bricks, по которой модули изготавливаются из сваренных между собой полых профилей коробчатого сечения [6].

Конструкции первого типа активно использовались при возведении АЭС проекта AP-1000 компании Westinghouse [7]. При возведении АЭС проекта AP-1000 с использованием индустриальных конструкций снижение капиталовложений должно было снизиться на 20–30 %, а продолжительность возведения – уменьшиться на 25 % по сравнению с возведением станции с использованием традиционных технологий [8]. Также количество работников на объекте может быть снижено на 30 % [9]. Модульные конструкции, производимые по технологии Steel Bricks, также показывают сокращение продолжительности строительства [10–12]. Благодаря применению методов индустриализации строительства, особенно к конструкциям критического пути, можно добиться сокращения сроков строительства АЭС на четыре-пять месяцев, по данным МАГАТЭ [13].

В России разработана другая технология для крупноблочного строительства – армоопалубочные блоки (армоблоки). Армоблоки представляют собой пространственные арматурные каркасы с закреплёнными на них листами несъёмной сталефибробетонной опалубки [14–17]. В отличие от зарубежных модульных сталебетонных технологий, в отечественной применяется классическая стержневая арматура. Стык арматуры блоков происходит

при помощи сварных, муфтовых или петлевых соединений.

Однако крупноблочное индустриальное строительство имеет недостатки, которые делают применение крупноблочного строительства неоднозначным [18]:

- дополнительные проектно-конструкторские работы;
- дополнительные строительные работы;
- дополнительная координация деятельности;
- необходимость дополнительных материалов;
- повышенные риски.

Важным критерием является время принятия решения об использовании крупноблочной технологии, поскольку модульное строительство предполагает, что проектирование должно быть практически завершено до начала строительства [18]. Таким образом, решение об использовании крупноблочного строительства должно приниматься на предпроектном этапе жизненного цикла [19].

Сравнение традиционного и крупноблочного строительства, как правило, приводится для абсолютно дифференцированных вариантов, в каждом из которых применяется только одна из названных технологий. На рисунке 1 приведён пример сопоставления календарных графиков для традиционной и крупноблочной технологий возведения защитной конструкции АЭС проекта OPR1000 [20].

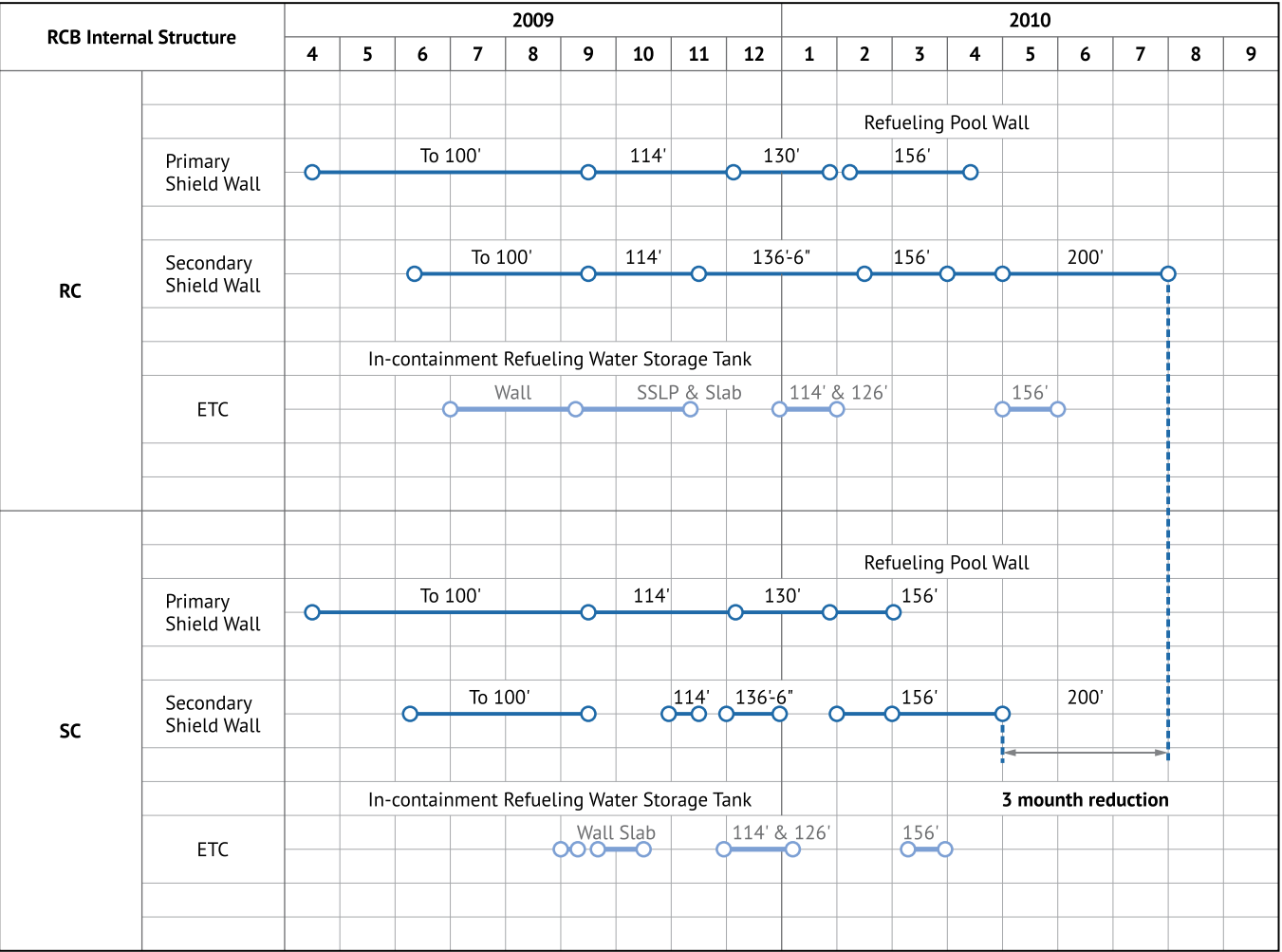


Рис. 1. Сопоставление календарных графиков для традиционной (RC) и крупноблочной (SC) технологий возведения защитной конструкции АЭС проекта OPR1000 [20]

Fig. 1. Comparison of schedules for traditional (RC) and large-block (SC) technologies for the construction of the protective structure of the OPR1000 NPP [20]

Однако при принятии решения о применяемой технологии возведения необходимо учитывать, что из-за особенностей, вызванных, в первую очередь, компоновкой оборудования, а также рядом организационных факторов, возведение всего здания крупноблочным методом невозможно. Таким образом, наряду с крупноблочной технологией в определённой доле будет применяться и традиционная технология возведения. Соответственно, для корректного сопоставления вариантов на стадии обоснования инвестиций (ОБИН) требуется знать, насколько максимально возможно применение промышленных конструкций.

Материалы и методы

В качестве примера здания из состава комплекса АЭС для определения максимальной степени индустриализации выберем вспомогательное реакторное здание. Критериями выбора вспомогательного реакторного здания для данного исследования стало то, что здание находится на критическом пути возведения комплекса АЭС, является массивным, выполняется в железобетонных конструкциях. Конструктивно-компоновочные решения вспомогательного реакторного здания анализируются на основе проектной и рабочей документации проекта ВВЭР-ТОИ. На основе конструктивно-компоновочных решений оборудования и строительных конструкций выявляются факторы, ограничивающие применение армоблоков.

Вычисление объёмов конструкций производится с дифференциацией по отметкам здания и толщинам конструкций. После группирования вычисленных объёмов по технологиям возведения находится коэффициент индустриализации как отношение объёма железобетонных конструкций, возводимых промышленными крупноблочными методами, к общему объёму железобетонных конструкций здания. Далее вычисляются трудозатраты на возведение железобетонных конструкций в трёх вариантах: традиционный способ, крупноблочный способ с учётом коэффициента, крупноблочный способ без учёта коэффициента. Оцениваются соотношения трудозатрат.

Результаты

Железобетонные конструкции вспомогательного реакторного здания представлены стенами и перекрытия-

ми, толщина которых варьируется от 300 до 1200 мм (для отдельных участков – более 4000 мм).

Факторы, ограничивающие использование армоблоков:

- технологические,
- организационные.

Были проанализированы все отметки вспомогательного реакторного здания. В результате были выявлены следующие технологические факторы, ограничивающие использование армоблоков:

- трудности проектирования и изготовления армоблоков сложной геометрии;
- конструктивная сложность узлов стыковки стеновых армоблоков и армоблоков перекрытий;
- большое количество проёмов и технологических проходов;
- места крепления площадок и оборудования с большими нагрузками.

Современная технология изготовления армоопалубочных блоков хорошо подходит для конструкций равномерной толщины, а также выполнения прямых и ортогональных узлов сочленения конструкций. При наличии сложной формы железобетонных конструкций, которая присутствует в зданиях и сооружениях АЭС из-за компоновки технологического оборудования и трубопроводов, применение армоблоков ограничено. Из-за большого количества проёмов и проходов применение армоопалубочных блоков может быть затруднительно. Как правило, такие участки выполняют с помощью монолитных участков с армированием отдельными стержнями и инвентарной опалубкой (рисунок 2).

Элементы крепления сталефибробетонных плит, кроме функции соединения несъёмной опалубки и каркаса армоблока, также используются для крепления различных систем. Крепление происходит на шпильки, расположенные по площади фибробетонных панелей. Однако крепление такого типа не способны воспринимать значительные нагрузки от тяжёлого оборудования. В таких участках необходимы установка плоских закладных деталей, а, следовательно, использование инвентарной опалубки.

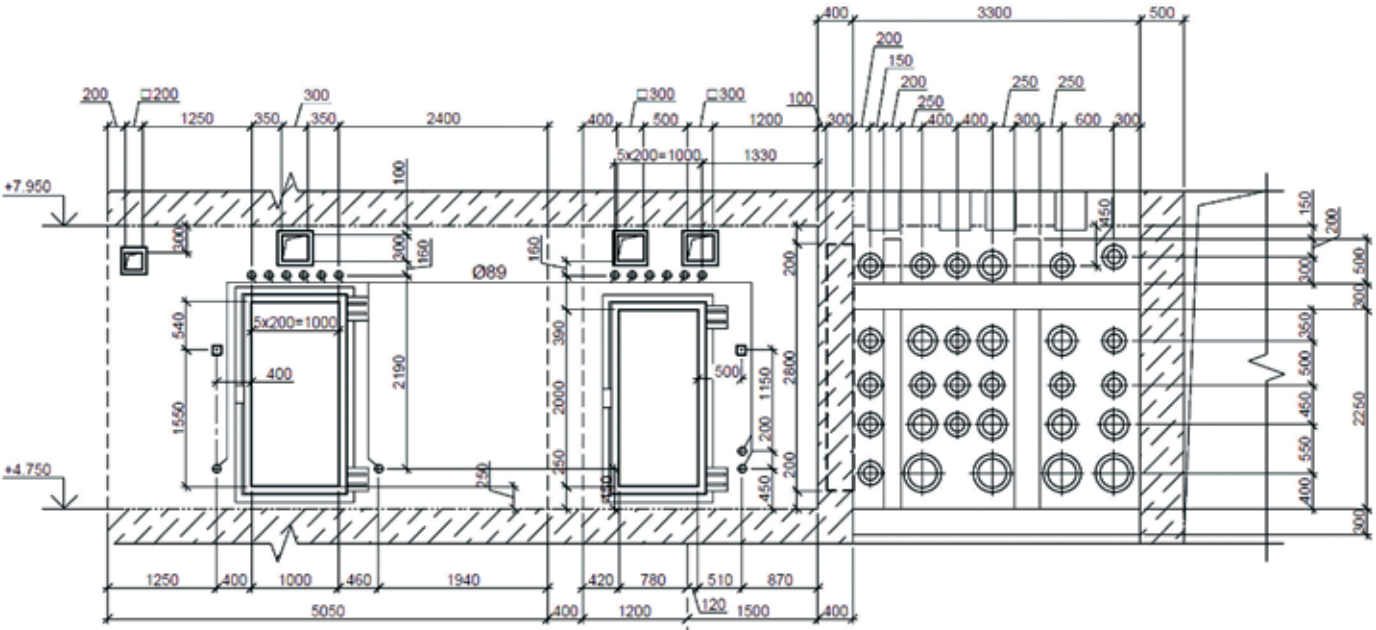


Рис. 2. Пример фрагмента, выполняемый в виде монолитного участка из-за множества проёмов и проходов
Fig. 2. An example of a fragment executed as a cast-in-place section due to the multitude of openings and passages

Среди организационных факторов, ограничивающих использование армоблоков, можно выделить следующие:

- недостаточная производительность проектного производства;
- необходимость использования или создания дополнительных промышленных производств;
- увеличение требований к грузоподъёмности кранового оборудования;
- увеличение требований к квалификации рабочих.

Для выпуска армоблоков требуется рабочая документация высокой степени детализации, аналогичная рабочей документации марки КМД. При такой степени детализации объём рабочей документации для железобетонных конструкций, проектируемых в армоблоках, в среднем вырастает в 14 раз по сравнению с объёмом рабочей документации для железобетонных конструкций из отдельных стержней [19]. Этот фактор значительно увеличивает трудозатраты проектного блока и требует большого числа проектировщиков высокой квалификации.

Использование армоблочных конструкций подразумевает изготовление армоблоков в цеховых условиях. Цеха могут находиться как на существующих производствах в регионе строительства, так и возводиться на площадях строительно-монтажной базы. При наличии производств вблизи строительства АЭС также важно обеспечить возможность транспортировки армоблоков от завода до строительной площадки, что может потребовать достаточной проходимости транспортных путей и специального транспорта [19; 21]. При отсутствии в районе строительства необходимых производств требуется создание цехов на территории строительно-монтажной базы, что увеличивает трудозатраты и стоимость подготовительного периода этапа строительства.

Масса армоопалубочных блоков составляет от 5 до 400 тонн в зависимости от степени укрупнения, что повышает требования к грузоподъёмности кранового оборудования. Армоблоки массой до 10 т возможно монтировать обычными башенными кранами, армоблоки массой до 60 т – тяжеловесными башенными кранами. Для армоблоков массой свыше 60 т применяются стреловые гусеничные краны либо козловые краны [19]. При использовании кранов большой грузоподъёмности необ-

ходимо организовать фронт монтажных работ с наименьшими простоями, поскольку высокая стоимость кранов большой грузоподъёмности увеличивает расходную часть проекта возведения АЭС.

Переход от традиционного возведения железобетонных конструкций к крупноблочному требует изменения кадрового состава рабочих. Поиск квалифицированных кадров усложняется при реализации зарубежных проектов, в контрактной документации которых зачастую присутствует обязательство использования 60–70 % местного персонала, который может иметь недостаточную квалификацию [22].

Поскольку организационные факторы зависят от площадки строительства, требований заказчика и вероятностных факторов, их можно рассматривать как организационные риски. При полном отсутствии организационных рисков максимальную степень индустриализации будем определять только на основании технологических факторов.

Распределение объёмов бетона вспомогательного реакторного здания по конструкциям с учётом толщин конструкций приведено на рисунках 3, 4.

Введём понятие коэффициента индустриализации $k_{и}$, вычисляемого по формуле 1. Объёмы бетона строительных конструкций представлены в таблице 1.

$$k_{и} = \frac{V_{бет,и}}{V_{бет,общ}}, \quad (1)$$

где $V_{бет,и}$ – объём железобетонных строительных конструкций, возводимых с применением промышленных конструкций, м³;

$V_{бет,общ}$ – общий объём железобетонных строительных конструкций, м³.

Сопоставим трудозатраты на возведение железобетонных конструкций в трёх вариантах: традиционный способ, крупноблочный способ с учётом коэффициента, крупноблочный способ без учёта коэффициента (теоретический). Трудозатраты вычислим по Государственным элементным сметным нормам. В соответствии с п. 1.6.44 ГЭСН-06 [23], для работ по бетонированию при крупноблочном способе возведения применён коэффициент 0,75, учитывающий отсутствие инвентарной опалубки.

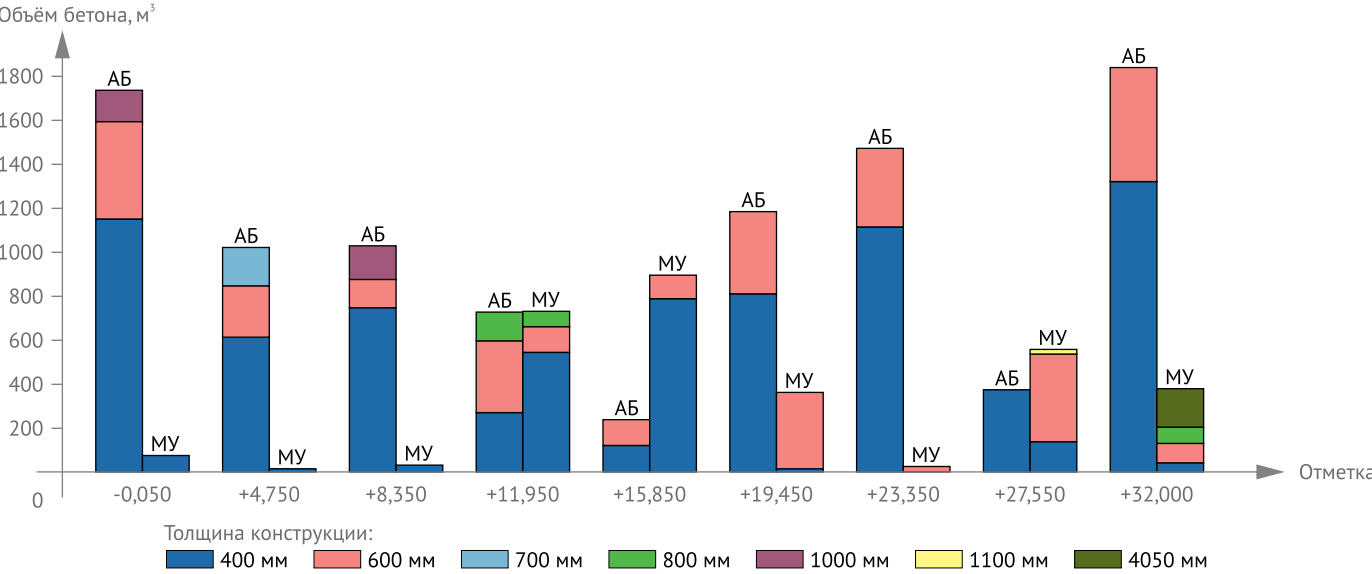


Рис. 3. Объёмы бетона перекрытий по отметкам и технологиям возведения (АБ – объём, возводимый с применением армоблоков, м³; МУ – объём, возводимый традиционным способом в монолитных участках, м³)
Fig. 3. Volumes of concrete floors by elevations and construction technologies (АБ - volume constructed using reinforced concrete blocks, m³; МУ - volume constructed using traditional methods in cast-in-place sections, m³)

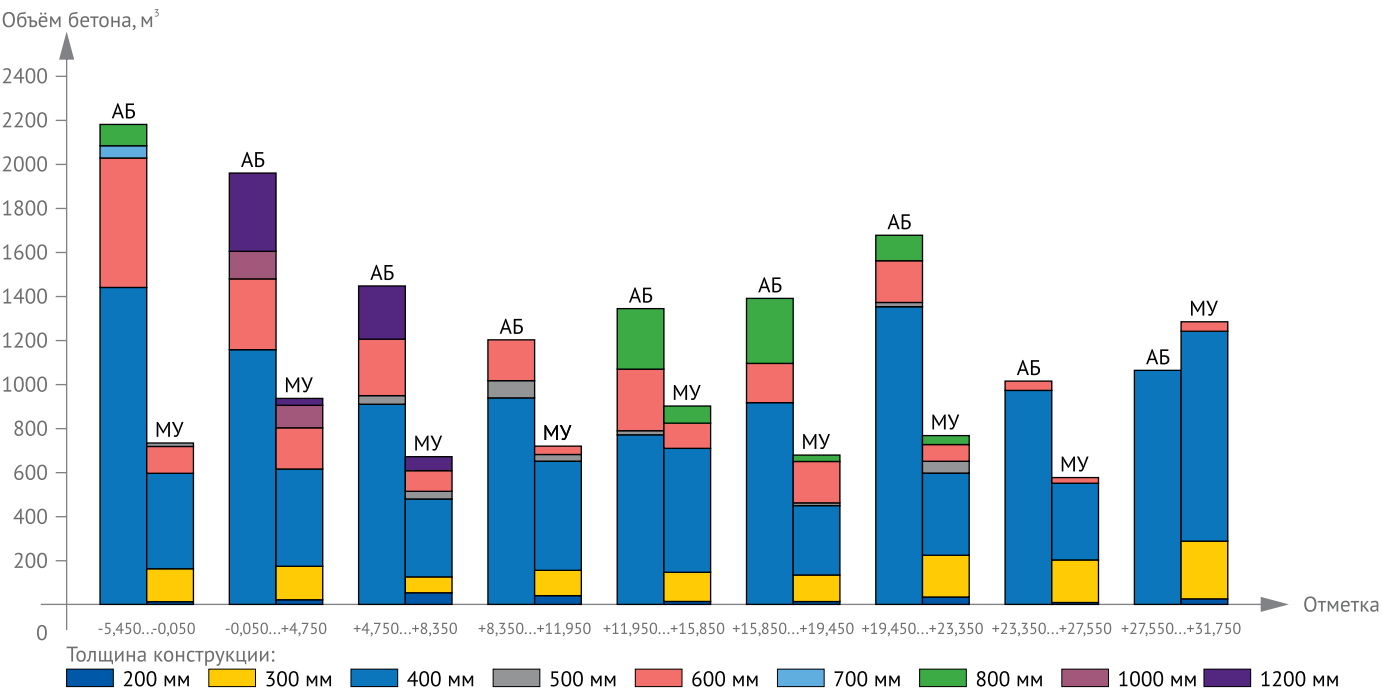


Рис. 4. Объёмы бетона стен по отметкам (АБ – объём, возводимый с применением армоблоков, м³; МУ – объём, возводимый традиционным способом в монолитных участках, м³)
Fig. 4. Volumes of concrete walls by marks (АБ - volume erected using reinforced concrete blocks, m³; МУ - volume erected using traditional methods in cast-in-place sections, m³)

Результаты вычисления трудозатрат приведены в таблице 2.

Обсуждение
Коэффициент индустриализации для перекрытий больше, чем коэффициент индустриализации для стен ($k_u^{пер} = 0,76$; $k_u^{ст} = 0,65$). Это вызвано следующими факторами:

- Стены имеют более сложную конфигурацию, в том числе имеется множество узлов примыкания, что приводит к появлению большого количества монолитных участков.
- Большое количество проходок в стенах для технологических систем.
- Стены толщиной до 300 мм включительно возводятся с использованием инвентарной опалубки, поскольку использование сталефибробетонной несъёмной опалубки в тонких стенах значительно (на 20–30 %) уменьшает рабочее сечение конструкции.

Основное применение полученные коэффициенты могут иметь при прогнозировании трудозатрат на возведение новых блоков по референтному проекту, а также при расчёте обеспеченности ресурсами строительных предприятий и разработке требований к строительномонтажной базе. Также полученные коэффициенты возможно использовать при прогнозировании трудозатрат других зданий и проектов АЭС, применяя обоснованную экстраполяцию либо схожую методику расчёта при наличии блока-референта.

Конструкция	Индустриальные конструкции	Общий расход бетона	k_n
Перекрытия, м³	9 610,83	12 665,71	0,65
Стены, м³	13 372,30	20 688,65	0,76
Монолитные конструкции вспомогательного реакторного здания, м³	22 983,13	33 354,36	0,69

Табл. 1. Объёмы бетона строительных конструкций
Tab. 1. Volumes of concrete for building structures

При оценочных расчётах трудозатрат на монолитные работы на строительной площадке по ГЭСН коэффициент индустриализации можно использовать в следующей формуле:

$$C_{общ} = \sum_i k_u \cdot (0,75 \cdot V_i \cdot c_i^{бет} + k_{мет} \cdot m_i \cdot c_i^{монтаж}) + \sum_i (1 - k_u) \cdot (V_i \cdot c_i^{бет} + m_i \cdot c_i^{арм}), \quad (2)$$

где $C_{общ}$ – общие трудозатраты, чел.-ч;
 k_u – коэффициент индустриализации;
 $k_{мет}$ – коэффициент увеличения металлоёмкости в армоблоках;
 V_i – объём бетона i -ой конструкции (с разделением по ГЭСН), м³;
 m_i – масса арматуры i -ой конструкции, чел.-ч;
 $c_i^{бет}$ – удельные трудозатраты бетонирования i -ой конструкции (с разделением по ГЭСН), чел.-ч/100 м³;
 $c_i^{монтаж}$ – удельные трудозатраты монтажа металлоконструкций (арматуры и каркасов) i -ой конструкции, чел.-ч/100 т;
 $c_i^{арм}$ – удельные трудозатраты армирования i -ой конструкции, чел.-ч/т.

Коэффициент 0,75 учитывает использование несъёмной опалубки в соответствии с ГЭСН [23]. Коэффициент увеличения металлоёмкости в армоблоках учитывает увеличение металлоёмкости при использовании армоопалубочных блоков; при отсутствии данных можно принять равным 1,5.

Заключение

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Индустриализация строительства является перспективным направлением сокращения продолжительности возведения атомных электростанций и широко используется в мировой практике.
2. Существующий подход к целесообразности применения индустриальных технологий не предусматривает оценки технологических и организационных ограничений возведения зданий и сооружений АЭС с помощью крупноблочных технологий.

Параметр сравнения		Технология		
		Традиционный способ	Индустриальный способ (с учётом k_n)	Индустриальный способ (теоретический, 100 %)
Материалы (кроме бетона)	Сталефибробетон, м³	0,00	2 398,45	3702,43
	Инвентарная опалубка, м²	123 414,30	43465,98	0,00
	Арматура, металлопрокат, т	3 925,63	5061,53	5571,86
Трудозатраты на строительной площадке, чел.-ч		475 199,17	365 438,34	289 946,11

Табл. 2. Вычисление трудозатрат
Tab. 2. Calculating labor costs

3. Среди технологических ограничивающих факторов выделены сложная геометрия части блоков, сложные узлы примыкания, проёмы и проходки, крепление площадок и оборудования с большими нагрузками.
4. Среди организационных ограничивающих факторов выделены производительность проектного производства, использование дополнительных индустриальных производств, требования к грузоподъёмности оборудования, требование к квалификации рабочих.
5. Введённый коэффициент индустриализации выражает долю строительных конструкций, которая мо-

жет быть выполнена с применением крупноблочной технологии возведения.
6. На основании расчётов трудозатрат показано, что реально возможное сокращение трудозатрат на строительной площадке при использовании крупноблочной технологии возведения железобетонных конструкций по сравнению с традиционной технологией составляет лишь 23,1 %, хотя теоретически возможное сокращение заявлено в 39,0 %. Это показывает, что пренебрежение коэффициентом индустриализации при прогнозировании трудозатрат способно завысить теоретическое снижение трудозатрат в 1,69 раза (на две трети) по сравнению с реальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миссия. Стратегические цели. Ценности // Госкорпорация Росатом. – URL: <https://www.rosatom.ru/about/mission>.

2. Concrete Codes and Standards for Nuclear Power Plants: Recommendations for Future Development / Nuclear Energy Standards Coordination Collaborative (NESCC) Concrete Task Group (CTG), Nuclear Energy Standards Coordination Collaborative, National Institute of Standards and Technology, American National Standards Institute. – USA, 2011. – URL: https://share.ansi.org/shared%20documents/Meetings%20and%20Events/NESCC/NESCC_2011/NESCC_Final_Report_of_the_Concrete_Task_Group.pdf.

3. Wright, E. Advanced Construction Technologies for the Nuclear Construction Industry / E. Wright, K. Cho, M. Hastak. – DOI 10.1061/9780784412329.237 // Construction Challenges in a Flat World : Proceedings of Construction Research Congress, Proceedings of Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World, held in West Lafayette, Indiana, May 21–23, 2012. – 2012.

4. Advanced seismic base isolation methods for modular reactors : Final Report / E. Blandford, E. Keldrauk, M. Laufer, M. Mieler, J. Wei, B. Stojadinovic, P. F. Peterson. – DOI <https://doi.org/10.2172/1004114>. – California : Departments of Civil and Environmental Engineering and Nuclear Engineering University of California Berkeley, 2009. – 132 p.

5. Specification for Safety-Related Steel Structures for Nuclear Facilities : Including Supplement No. 1 : ANSI/AISC N690-12 ANSI/AISC N690s1-15 : An American National Standard : Approved by the AISC Committee on Specifications / American Institute of Steel Construction. – Chicago, Illinois, 2015.

6. A novel steel-concrete composite system for modular nuclear reactors / B. Burgan, C. Kyprianou, S. Bingham, S. Waterhouse. – DOI 10.1680/jener.16.00022 // Proceedings of the Institution of Civil Engineers Energy. – 2017. – Vol. 170, Iss. 2. – Pp. 80–90.

7. AP1000 Design Control Document : Review 18 (Design of Structures, Components, Equip, Tier 2 Chapter 3; Systems, Design of Category I Structures, Section 3.8) // WestinghouseNuclear.com : [Internet resource].

8. Off-site modular construction and design in nuclear power: A systematic literature review / P. A. Wrigley, P. Wood, S. O'Neill, R. Hall, D. Robertson. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103664> // Progress in Nuclear Energy. – 2021. – Vol. 134. – Art. 103664.

9. Sauvageon, A. Instabilités locales de structures en composite acier-béton aux températures élevées : Thesis for: Ph. D. / Alexis Sauvageon ; Universite Paris Saclay (ComUE). – Frangais, 2016.

10. Session 2: Panel on insights into advanced construction and manufacturing techniques / Panelists: B. Burgan, G. Hervé-Secourgeon, S. Jones, A. Finan // NEA Workshop on Advanced Construction and Manufacturing «Methodologies for New Nuclear Build», 16–17 March 2022 ; NEA Advanced Technology and Nuclear Costs. – Paris-Saclay University, 2022.

11. BWRX-300 General Description : 005N9751 : Revision F. // GE Hitachi Nuclear Energy. – 2023.

12. BWRX-300 Steel-Plate Composite (SC) Containment Vessel (SCCV) and Reactor Building Structural Design : NEDO-33988, Revision 0. – 2022.

13. Construction technologies for nuclear power plants / International Atomic Energy Agency : [website]. – Vienna : IAEA, 2011. – URL: <https://www.iaea.org/publications/8637/construction-technologies-for-nuclear-power-plants>.

14. Сборно-монолитная технология строительства зданий с несъёмной сталефибробетонной опалубкой / В. А. Дорф, Р. О. Красновский, И. С. Кроль, Д. Е. Капустин // Север России: стратегии и перспективы развития : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Сургут, 27 мая 2016 г. : в 4 т. – Сургут : Сургутский государственный университет, 2016. – Т. II. – С. 77–82.

15. Капустин, Д. Е. О применении несъёмной сталефибробетонной опалубки / Д. Е. Капустин, К. В. Рогачев, А. Е. Капустин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 102–109.

16. Патент на изобретение RU 184561 U1 РФ, Российская Федерация. Армоопалубочный блок с несъёмной опалубкой : заявка № 2018128920 от 2018.08.07 : опубл. : 2018.10.30 / С. Л. Белохин, Д. В. Иванов, Н. Ф. Меркушев, Г. Ю. Аксельрод, М. В. Пецка ; патентообладатель АО «Атомэнергопроект».

17. Патент RU 2633462 C1 РФ, Российская Федерация. Армоопалубочный блок с несъёмной опалубкой и строительная конструкция : заявка 2016131934, 2016.08.04 опубл. : 2017.10.12 / В. А. Дорф, Р. О. Красновский, Д. Е. Капустин, Д. В. Иванов, С. Л. Белохин, И. В. Лазарев, М. В. Пецка, Г. Ю. Аксельрод, С. А. Тарасов, Н. Ф. Меркушев ; патентообладатель АО «Концерн Росэнергоатом».

18. Vicedo, Y. Applications of steel-plate composite structures for nuclear modular construction : University essay from KTH/ Betongbyggnad / Y. Vicedo. – 2021.

19. Шашков, А. А. Формирование организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС : дис. ... канд.

- тех. наук : 2.1.14 / Шашков Алексей Андреевич; НИУ МГСУ. – Москва, 2023. – 197 с.
20. A Study on the Constructability of Steel Plate Concrete Structure for Nuclear Power Plant / Mun T. Y., Sun W. S., Kim K. K., Lee U. K. // Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting Gyeongju, Korea, May 29-30, 2008. – 2008. – Pp. 755–756.
 21. Холопов А. А. Транспортировка и монтаж укрупненных элементов АЭС / А. А. Холопов, К. А. Дудкевич, Б. К. Пергаменчик // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 266–274.
 22. Морозенко, А. А. Оценка уровня кадрового потенциала строительных предприятий и его использование в повышении

REFERENCES

1. Missiya. Strategicheskie tseli. Tsennosti [The mission. Strategic goals. Values] // Goskorporatsiya Rosatom [Rosatom State Corporation]. – URL: <https://www.rosatom.ru/about/mission>.
2. Concrete Codes and Standards for Nuclear Power Plants: Recommendations for Future Development / Nuclear Energy Standards Coordination Collaborative (NESCC) Concrete Task Group (CTG), Nuclear Energy Standards Coordination Collaborative, National Institute of Standards and Technology, American National Standards Institute. – USA, 2011. – URL: https://share.ansi.org/shared%20documents/Meetings%20and%20Events/NESCC/NESCC_2011/NESCC_Final_Report_of_the_Concrete_Task_Group.pdf.
3. Wright, E. Advanced Construction Technologies for the Nuclear Construction Industry / E. Wright, K. Cho, M. Hastak. – DOI 10.1061/9780784412329.237 // Construction Challenges in a Flat World : Proceedings of Construction Research Congress, Proceedings of Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World, held in West Lafayette, Indiana, May 21-23, 2012. – 2012.
4. Advanced seismic base isolation methods for modular reactors : Final Report / E. Blandford, E. Keldrauk, M. Laufer, M. Mieler, J. Wei, B. Stojadinovic, P. F. Peterson. – DOI <https://doi.org/10.2172/1004114>. – California : Departments of Civil and Environmental Engineering and Nuclear Engineering University of California Berkeley, 2009. – 132 p.
5. Specification for Safety-Related Steel Structures for Nuclear Facilities : Including Supplement No. 1 : ANSI/AISC N690-12 ANSI/AISC N690s1-15 : An American National Standard : Approved by the AISC Committee on Specifications / American Institute of Steel Construction. – Chicago, Illinois, 2015.
6. A novel steel-concrete composite system for modular nuclear reactors / B. Burgan, C. Kyprianou, S. Bingham, S. Waterhouse. – DOI 10.1680/jener.16.00022 // Proceedings of the Institution of Civil Engineers Energy. – 2017. – Vol. 170, Iss. 2. – Pp. 80–90.
7. AP1000 Design Control Document : Review 18 (Design of Structures, Components, Equip, Tier 2 Chapter 3; Systems, Design of Category I Structures, Section 3.8) // WestinghouseNuclear.com : [Internet resource].
8. Off-site modular construction and design in nuclear power: A systematic literature review / P. A. Wrigley, P. Wood, S. O'Neill, R. Hall, D. Robertson. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103664> // Progress in Nuclear Energy. – 2021. – Vol. 134. – Art. 103664.
9. Sauvageon, A. Instabilités locales de structures en composite acier-béton aux températures élevées : Thesis for: Ph. D. / Alexis Sauvageon ; Université Paris Saclay (COMUE). – Français, 2016.
10. Session 2: Panel on insights into advanced construction and manufacturing techniques / Panelists: B. Burgan, G. Hervé-Secourgeon, S. Jones, A. Finan // NEA Workshop on Advanced Construction and Manufacturing «Methodologies for New Nuclear Build», 16-17 March 2022 ; NEA Advanced Technology and Nuclear Costs. – Paris-Saclay University, 2022.
11. BWRX-300 General Description : 005N9751 : Revision F. // GE Hitachi Nuclear Energy. – 2023.
12. BWRX-300 Steel-Plate Composite (SC) Containment Vessel (SCCV) and Reactor Building Structural Design : NEDO-33988, Revision 0. – 2022.
13. Construction technologies for nuclear power plants / International Atomic Energy Agency : [website]. – Vienna : IAEA,

эффективности строительного производства / А. А. Морозенко, А. Л. Шепелев, Н. С. Швец // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 94–98.

23. Сборник № 6. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные : Государственные элементные сметные нормы на строительные работы ГЭСН-2001 в редакции 2009 года : ГЭСН 81-02-06-2001 : рекомендованы к применению постановлением Госстроя России от 26.04.00 № 36 с учётом изменений и дополнений : утверждены Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 26 декабря 2019 г. № 871/пр. – Москва : Росстрой, 2008. – 79 с.
2011. – URL: <https://www.iaea.org/publications/8637/construction-technologies-for-nuclear-power-plants>.
14. Sborno-monolitnaya tekhnologiya stroitel'stva zdaniy s nes"yomnoj stalefibrobetonnoj opalubkoj [Prefabricated monolithic technology of building construction with non-removable steel-fiber-concrete formwork] / V. A. Dorf, R. O. Krasnovsky, I. S. Krol, D. E. Kapustin // Sever Rossii: strategii i perspektivy razvitiya : Materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Surgut, 27 maya 2016 g. : v 4 t. [The North of Russia: Strategies and development prospects : Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Surgut, May 27, 2016 : in 4 volumes]. – Surgut : Surgutskij gosudarstvennyj universitet [Surgut State University], 2016. – Vol. II. – Pp. 77–82.
15. Kapustin, D. E. O primeneni nes"yomnoj stalefibrobetonnoj opalubki [On the use of non-removable steel-fiber-concrete formwork] / D. E. Kapustin, K. V. Rogachev, A. E. Kapustin // Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo [Regional architecture and construction]. – 2014. – No. 2. – Pp. 102–109.
16. Patent na izobretenie RU 184561 U1 RF, Rossijskaya Federatsiya. Armoopalubochnyj blok s nes"yomnoj opalubkoj : zayavka № 2018128920 ot 2018.08.07 : opubl. : 2018.10.30 [Patent for invention RU 184561 U1 RF, Russian Federation. Reinforced formwork unit with non-removable formwork : application No. 2018128920 dated 2018.08.07 : published : 2018.10.30] / S. L. Belokhin, D. V. Ivanov, N. F. Merkushev, G. Y. Axelrod, M. V. Petska ; patentoobladatel' AO «Atomenergoproekt» [patent holder of JSC Atomenergoproekt].
17. Patent RU 2633462 C1 RF, Rossijskaya Federatsiya. Armoopalubochnyj blok s nes"yomnoj opalubkoj i stroitel'naya konstruktsiya : zayavka 2016131934, 2016.08.04 opubl. : 2017.10.12 [Patent RU 2633462 C1 of the Russian Federation, Russian Federation. Reinforced formwork block with fixed formwork and construction structure : application 2016131934, 2016.08.04 published : 2017.10.12] / V. A. Dorf, R. O. Krasnovsky, D. E. Kapustin, D. V. Ivanov, S. L. Belokhin, I. V. Lazarev, M. V. Petska, G. Y. Axelrod, S. A. Tarasov, N. F. Merkushev ; patentoobladatel' AO «Kontsern Rosehnergoatom» [patent holder Rosenergoatom Concern JSC].
18. Vicedo, Y. Applications of steel-plate composite structures for nuclear modular construction : University essay from KTH/Betongbyggnad / Y. Vicedo. – 2021.
19. Shashkov, A. A. Formirovanie organizatsionnoj struktury proekta pri krupnoblochnom vozvedenii AEHS : dis. ... kand. tekhn. nauk : 2.1.14 [Formation of the organizational structure of the project during large-block construction of nuclear power plants : dis. ... Candidate of Technical Sciences : 2.1.14] / Alexey Andreevich Shashkov; NRU MGSU. – Moscow, 2023. – 197 p.
20. A Study on the Constructability of Steel Plate Concrete Structure for Nuclear Power Plant / Mun T. Y., Sun W. S., Kim K. K., Lee U. K. // Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting Gyeongju, Korea, May 29-30, 2008. – 2008. – Pp. 755–756.
21. Kholopov A. A. Transportirovka i montazh ukрупnennykh ehlementov AEHS [Transportation and installation of enlarged elements of nuclear power plants] / A. A. Kholopov, K. A. Dudkevich, B. K. Pergamenschik // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2010. – No. 4. – Pp. 266–274.
22. Morozenko, A. A. Otsenka urovnya kadrovogo potentsiala stroitel'nykh predpriyatij i ego ispol'zovanie v povyshenii ehffektivnosti stroitel'nogo proizvodstva [Assessment of the

human resource potential of construction enterprises and its use in improving the efficiency of construction production] / A. A. Morozenko, A. L. Shepelev, N. S. Shvets // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2023. – No. 2. – Pp. 94–98.

23. Sbornik № 6. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii monolitnye : Gosudarstvennye ehlementnye smetnye normy na stroitel'nye raboty GEHSN-2001 v redaksii 2009 goda : GEHSN 81-02-06-2001 [The collection № 6. Concrete and monolithic reinforced concrete structures : State elemental estimate standards for construction work GESN-2001 edition

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_39

Структурный анализ дефектов при составлении комплекта чертежей «Конструкции металлические деталировочные»

Structural Analysis of Defects in the Preparation of a Drawing Set «Metal Detailing Structures»

Фомин Никита Игоревич

Кандидат технических наук, доцент, директор Института строительства и архитектуры, заведующий кафедрой «Промышленное, гражданское строительство и экспертиза недвижимости», ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (ИСА УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Мира, 19, ni.fomin@urfu.ru

Fomin Nikita Igorevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Institute of Civil Engineering and Architecture, Head of the Department of Industrial, Civil Engineering and Real Estate Expertise, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU ISA), Russia, 620002, Ekaterinburg, ulitsa Mira, 19, ni.fomin@urfu.ru

Соколов Максим Анатольевич

Аспирант кафедры «Промышленное, гражданское строительство и экспертиза недвижимости», ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Мира, sokolv_maksim@mail.ru

Sokolov Maxim Anatolievich

Postgraduate student of the Department of Industrial, Civil Engineering and Real Estate Expertise, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Russia, 620002, Ekaterinburg, ulitsa Mira, 19, sokolv_maksim@mail.ru

Аннотация. Одним из критически важных этапов в процессе проектирования и строительства является создание качественного комплекта рабочих чертежей марки КМД (конструкций металлических деталировочных). Он гарантирует точность, согласованность всех процессов и способствует успешному выполнению строительных работ, что снижает риски и повышает общую эффективность проекта.

Цель данной статьи заключается в выявлении основных дефектов конструкций металлических деталировочных и характеристик, на которые они влияют, а также в расчёте весовых коэффициентов выявленных характеристик, которые будут применяться в анализе уровня значимости дефектов КМД.

В качестве методов использовались методы статистического анализа для сбора, анализа и группировки данных, методы экспертной оценки – для выявления значимых параметров и их весовых характеристик. Были определены критерии выбо-

Abstract. One of the critical stages in the design and construction process is the creation of a quality set of MDS (metal detailing structures) working drawings. It guarantees accuracy, consistency of all processes and contributes to the successful execution of construction works, which reduces risks and increases the overall efficiency of the project.

The purpose of this article is to identify the main defects of metal detailing structures and the characteristics they affect, as well as to calculate the weighting coefficients of the identified characteristics to be used in analyzing the level of significance of MDS defects.

The methods used were statistical analysis methods for data collection, analysis and grouping, methods of expert evaluation to identify significant parameters and their weighting charac-

2009 : GESN 81-02-06-2001] : rekomendovany k primeneniyu postanovleniem Gosstroya Rossii ot 26.04.00 № 36 s uchytom izmenenij i dopolnenij : utverzhdeny Priказом Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva RF ot 26 dekabrya 2019 g. № 871/pr [recommended for use by the resolution of the state construction Committee of Russia from 26.04.00 No. 36, taking into account changes and additions : approved by Order of the Ministry of construction and housing utilities of the Russian Federation of December 26, 2019 No. 871/pr]. – Moscow : Rosstroy, 2008. – 79 p.

ра экспертов, а также проведены расчёты, определяющие, что мнение экспертов значимо – по критерию Пирсона – и согласованно – по коэффициенту Кендалла.

В результате проведённых исследований, путём расчёта весовых коэффициентов были определены наиболее значимые характеристики МК (металлических конструкций), на которые влияют дефекты в КМД. Полученные результаты будут использованы в дальнейших исследованиях, связанных с разработкой конструктивно-технологических решений, которые позволяют снизить количество дефектов при составлении чертежей КМД.

Ключевые слова: проектирование металлических конструкций; конструкции металлических деталировочных (КМД); дефекты КМД; характеристики металлических конструкций; экспертный опрос; структурный анализ; коэффициент Пирсона; коэффициент конкордации Кендалла.

teristics. The criteria for selecting experts were determined, and calculations were carried out to determine that the experts' opinion is significant - by Pearson's criterion, and agreed - by Kendall's coefficient.

As a result of the conducted research, by calculating the weighting coefficients the most significant characteristics of the MS (metal structures), which are affected by defects in the MDS, the results obtained will be used in further studies related to the development of constructive and technological solutions that reduce the number of defects in the preparation of MDS.

Keywords: metal structures design; metal detailing structures (MDS); MDS defects; characteristics of metal structures; expert survey; structural analysis; Pearson's coefficient; Kendall's concordance coefficient.

мость доработок и, как следствие, увеличение сроков и затрат.

- Повышение/снижение металлоёмкости конструкций. Металлоёмкость конструкции указывает на количество металла, необходимого для её создания. Оптимизация проектных решений может привести к снижению металлоёмкости, что уменьшает затраты. Однако неверные решения могут, наоборот, повысить её, увеличивая стоимость проекта.
- Дополнительные затраты на стройплощадке или на заводе. Дополнительные затраты могут возникнуть из-за необходимости выполнять дополнительные работы, такие как подготовка поверхности конструкции к сварке, монтаж вспомогательных конструкций или работа с лишними материалами.
- Скорость монтажа/изготовления конструкций. Эта характеристика включает в себя оценку временных затрат на изготовление и монтаж металлоконструкций. Скорость важна для минимизации простоев на стройплощадке и быстрого завершения проекта.
- Дополнительные затраты на транспортировку металлоконструкций. К данному типу затрат относятся расходы на логистику и транспортировку негабаритных конструкций.
- Появление дополнительных затрат из-за неверного количества/качества покупных изделий. Ошибки в расчётах потребного количества или неправильное

Далее представлен перечень характеристик МК, на которые влияют дефекты в КМД:

- Несущая способность металлоконструкции. Определяется как максимальная рабочая нагрузка, которую способны нести металлоконструкции без разрушения, деформации и потери функциональности.
- Возможность монтажа металлоконструкций. Эта характеристика подразумевает, что металлоконструкции должны быть спроектированы и изготовлены так, чтобы их было удобно и безопасно монтировать на стройплощадке, что включает в себя доступность всех необходимых деталей и методов крепления, а также возможность использования строительной техники.
- Возможность изготовления металлоконструкций. Проект должен учитывать доступность технологий и оборудования для производства металлоконструкций. Важно, чтобы конструкция могла быть изготовлена с использованием имеющихся материалов и в пределах возможностей заводов, что позволит избежать задержек и дополнительных затрат.
- Наличие несоответствия чертежей марок КМД и КМ. Данная характеристика касается ситуаций, когда проектная документация имеет ошибки или неполноту, что может приводить к несоответствию изготавливаемых конструкций требованиям. Это может вызвать перерасход материалов, необходи-

конструкций, как на монтаже, так и на заводе. Как следствие, данная ошибка оказывает влияние на общую металлоёмкость проекта. Ошибки в толщинах элементов также относятся к данному дефекту;

- Неверное расположение отверстий. Этот дефект представляет собой несоответствие «обрезов» и «допусков» для отверстий болтовых соединений в нормативной/исходной документации. Игнорирование требований к «обрезам» болтовых соединений приводит к снижению несущей способности конструкций, а в случае с «допусками» – к невозможности установки болтов;
- Неправильные узлы и соединения. Ошибка возникает в процессе создания модели из-за влияния человеческого фактора или из-за наличия противоречивой информации в исходной документации. Последствием дефекта такого рода может являться не только появление дополнительных затрат на производстве, но и снижение несущей способности узла крепления конструкций;
- Несоответствие материалов и обработок поверхности. Несоответствие материалов исходной документации приводит к снижению несущей способности конструкций – в случае выбора более низкого класса металла, чем необходимо. В случае выбора более высокого класса металла происходит удорожание проекта. Ошибки в назначении антикоррозионной защиты и огнезащиты могут повлечь возникновение дефектов конструкций при воздействии на них факторов внешней среды. Неверное назначение обработок поверхности конструкций приводит к дополнительным затратам на монтажной площадке;
- Ошибки в маркировке элементов. Неправильная или отсутствующая маркировка металлических элементов может вызвать путаницу на этапе монтажа или на этапе изготовления конструкций, что влияет на сроки выполнения работ;
- Ошибки в сварочных соединениях. Этот дефект возникает в случае несоблюдения нормативной документации по сварным соединениям. Так, неправильное указание типа и размеров сварных швов может привести к ослаблению соединений;
- Ошибка в чертежах сборки. Данная ошибка обусловлена недостаточной детализацией чертежей сборки или отсутствием указаний по последовательности монтажа и может вызвать проблемы при изготовлении конструкций на заводе и при установке конструкций на объекте;
- Отсутствие учёта методов монтажа и транспорта. При составлении комплекта КМД необходимо учитывать возможности транспортировки и сборки конструкций на строительной площадке, в противном случае это может вызвать проблемы с логистикой;
- Несоответствие количества и качества покупных изделий. Дефект возникает при составлении ведомостей и представляет собой ошибки в количестве/качестве покупных изделий [2–3].

Также помимо самих дефектов были определены характеристики, на которые они влияют, поскольку именно они оказывают прямое влияние на процесс строительства объекта, экономическую составляющую проекта и его эксплуатационные качества [4].

Введение

Создание качественного комплекта рабочих чертежей «Конструкции металлические деталировочные» (КМД) – это один из ключевых моментов в процессе проектирования и строительства. На этапе составления чертежей марки КМД необходимо уделить особое внимание выявлению и устранению возможных дефектов, которые могут впоследствии негативно повлиять на качество и безопасность строящихся объектов [1].

Цель исследования заключается в выявлении основных дефектов конструкций металлических деталировочных и характеристик, на которые они влияют.

Актуальность работы заключается в том, что анализ дефектов при составлении комплекта чертежей КМД имеет несколько ключевых значений, а именно:

1. Повышение качества – анализ дефектов помогает выявить ошибки на ранних стадиях, что способствует улучшению качества чертежей и, как следствие, готовых конструкций.
2. Снижение затрат – исправление ошибок на этапе разработки чертежей дешевле, чем устранение их при производстве или строительстве. Это позволяет избежать дополнительных затрат.
3. Безопасность – дефекты в чертежах могут привести к серьёзным авариям и угрозе безопасности. Исследование и исправление ошибок помогают предотвратить потенциальные риски.

Материалы и методы

В исследовании был использован метод экспертной оценки для того, чтобы определить значимость дефектов, выявленных на начальном этапе работы. Также помимо самих дефектов были определены характеристики, на которые эти дефекты влияют. Выявление дефектов и характеристик производилось путём изучения и анализа факторов и особенностей работы с комплектами чертежей марки КМ и КМД.

Следующий этап работы заключался в подборе экспертов. Экспертами были определены лица, имеющие достаточный опыт в области составления комплектов чертежей марки КМД, имеющие профильное высшее образование.

Анализ данных осуществлялся в два этапа. Первый этап представлял собой качественную оценку, где определялась взаимосвязь дефектов и характеристик. Второй этап – это количественная оценка значимости характеристик дефектов. Чтобы полученные результаты были достоверными, были определены коэффициенты значимости и согласованности мнений экспертов.

Результаты были представлены в виде сводных таблиц и диаграмм, которые отразили итоги экспертной оценки и позволили сформировать выводы по текущему исследованию.

Результаты и обсуждение

Существует множество дефектов, которые могут возникнуть как на стадии проектирования, так и в процессе выполнения работ. Ниже представлен наиболее распространённый перечень дефектов конструкций металлических деталировочных:

- Ошибочные размеры элементов. Данный дефект возникает по причине несоответствия размеров разрабатываемых чертежей с исходной документацией. Указанная проблема приводит к искажению геометрии, что влечёт за собой осложнение собираемости

Характеристики МК, на которые влияют проектные дефекты, отражённые в разделе КМД	Дефекты конструкций металлических деталировочных								
	Ошибочные размеры элементов	Неверное расположение отверстий	Неправильные узлы и соединения	Несоответствие материалов и обработок поверхности	Ошибки в маркировке элементов	Ошибки в сварочных соединениях	Ошибки в чертежах сборки	Отсутствие учёта методов монтажа и транспортировки	Несоответствие количества или качества покупных изделий
1) Несущая способность МК	1	1	1	1	0	1	0	0	1
2) Возможность монтажа МК	1	1	0	1	1	0	1	1	0
3) Возможность заводского изготовления элементов МК	1	0	0	0	1	0	1	0	0
4) Наличие несоответствия чертежей марок КМД и КМ	1	1	1	1	1	1	0	0	1
5) Повышение/снижение металлоёмкости МК	1	0	1	0	0	0	0	0	0
6) Дополнительные затраты на изготовление и монтаж МК	1	1	0	1	0	0	0	1	1
7) Скорость монтажа/изготовления конструкций	1	1	0	1	1	0	1	1	1
8) Дополнительные затраты на транспортировку МК	1	0	0	0	0	0	0	1	0
9) Дополнительные затраты из-за количества/качества изделий	1	0	1	0	0	0	0	0	1

Табл. 1. Дефекты проектных решений в конструкциях металлических деталировочных и характеристики, на которые они влияют
Tab. 1. Design defects in metal detailing structures and the characteristics they affect

понимание спецификаций могут привести к покупке недостаточного или некачественного материала. Это может увеличить затраты и вызвать задержки в процессе строительства [5–6].

Для того чтобы оценить взаимосвязь выявленных дефектов и характеристик, была составлена таблица 1, в которой 1 – это прямое влияние дефекта на характеристику МК, а 0 – отсутствие этого влияния.

Исходя из данных таблицы отметим, что пять дефектов из девяти оказывают влияние на несущую способность металлоконструкций. Это свидетельствует о необходимости первоочередного предотвращения таких дефектов, поскольку они отвечают за безопасность строения.

Отметим, что дефектом, оказывающим влияние на наибольшее количество характеристик, является дефект «Ошибочные размеры элементов». Данный дефект оказывает влияние на восемь характеристик, в том числе затрагивает характеристику несущей способности, поскольку неверное значение толщин конструкций может привести к их ослаблению и увеличению экономических затрат при их усилении.

Самыми распространёнными характеристиками МК, на которые влияют дефекты в чертежах, являются «Наличие несоответствия чертежей марок КМД и КМ» и «Скорость монтажа/изготовления конструкций». На эти характеристики влияют семь дефектов из девяти.

Дефект «Ошибки в чертежах сборки» оказывает наименьшее влияние на проект, как с экономической точки зрения, так и с точки зрения безопасности конструкций.

Стоит обратить внимание на следующий дефект – «Ошибки в сварочных соединениях». Эта ошибка оказывает влияние всего на две характеристики МК, но также стоит учитывать их значимость, поскольку одной из них является «Несущая способность металлоконструкций», которую нельзя игнорировать. Итак, стоит учитывать не только количество характеристик, на которые влияет дефект, но и их значимость.

Таким образом, чтобы определить значимость характеристик дефектов, воспользуемся методом экспертной оценки [7]. Экспертами были определены лица, имеющие достаточный опыт в области составления комплектов чертежей марки КМД, имеющие профильное высшее образование. Им была предоставлена анкета с параметрами, которые они расположили в порядке убывания значимости на основании их опыта [8–9].

Чтобы определить, являются ли мнения экспертов согласованными, рассчитывается коэффициент Кендалла:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \tag{1}$$

где S – сумма квадратов отклонения суммы рангов от средней арифметической суммы рангов, n – количество исследуемых параметров, m – количество экспертов.

Если коэффициент больше 0,5, то его можно использовать в дальнейшем исследовании.

Далее необходимо провести оценку значимости коэффициента конкордации. Для этой цели рассчитаем критерий согласования Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{m \cdot n \cdot (n + 1)} = n \cdot (m - 1) \cdot W. \tag{2}$$

Эксперты \ Характеристики	1	2	3	4	5	6	Сумма рангов	d	d^2
x1	9	9	9	9	9	9	54	24	576
x2	7	8	8	8	8	8	47	17	289
x3	1	2	1	2	2	3	11	–19	361
x4	5	6	5	6	7	6	35	5	25
x5	3	4	3	3	3	2	18	–12	144
x6	2	1	2	1	1	1	8	–22	484
x7	6	5	6	5	4	4	30	0	0
x8	4	3	4	4	5	5	25	–5	25
x9	8	7	7	7	6	7	42	12	144
Сумма:	45	45	45	45	45	45	270	0	2048

Табл. 2. Результаты экспертного опроса
Tab. 2. Results of the expert survey

Полученный коэффициент Пирсона необходимо сравнить с табличным значением, и если расчётное значение больше табличного, то результаты имеют смысл и могут быть использованы в дальнейших исследованиях.

Определив, что оценки, полученные в результате опроса, могут быть использованы, рассчитываются весовые коэффициенты характеристик:

$$W_n = \frac{S_n}{\sum S}, \tag{3}$$

где S_n – сумма рангов n -го параметра;

$\sum S$ – сумма сумм рангов всех параметров.

Для анализа лишь значимых характеристик необходимо исключить из общего списка те характеристики, значения которых относятся к «шумовому полю» [10–11]. Верхняя граница уровня «шумового поля» примерно 15–20 % от основного фактора.

Дальнейший ход работы состоял в следующем: экспертам была предложена анкета, включающая характеристики МК, на которые влияют дефекты в КМД, для определения наиболее и наименее значимых факторов. Для 9 характеристик достаточно 5 экспертов [12]. В данном исследовании опрос проходили 6 экспертов.

Результаты экспертного опроса представлены в таблице 2.

Получив оценки, которые поставили эксперты, определили, насколько мнения экспертов согласованны [13].

$$W = \frac{12 \cdot 2048}{6^2 \cdot (9^3 - 9)} = 0,948. \tag{4}$$

Так как $W \geq 0,5$, то существует согласованность мнений экспертов.

Рассчитываем критерий согласования Пирсона:

$$\chi^2 = n \cdot (m - 1) \cdot W = 6 \cdot (9 - 1) \cdot 0,948 = 45,504. \tag{5}$$

Полученный коэффициент Пирсона сравнили с табличным значением для числа степеней свободы 8. Таким образом, χ^2 равен 45,504, что $\geq$ табличного (15,507),

Характеристики	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
Сумма рангов	54	47	11	35	18	8	30	25	42
% от большей суммы рангов	100	87	20	65	33	15	56	46	78
Вес характеристики, %	20	17	4	13	7	3	11	9	16

Табл. 3. Определение уровня «шумового поля» и веса характеристик

Tab. 3. Determination of noise field level and feature weights

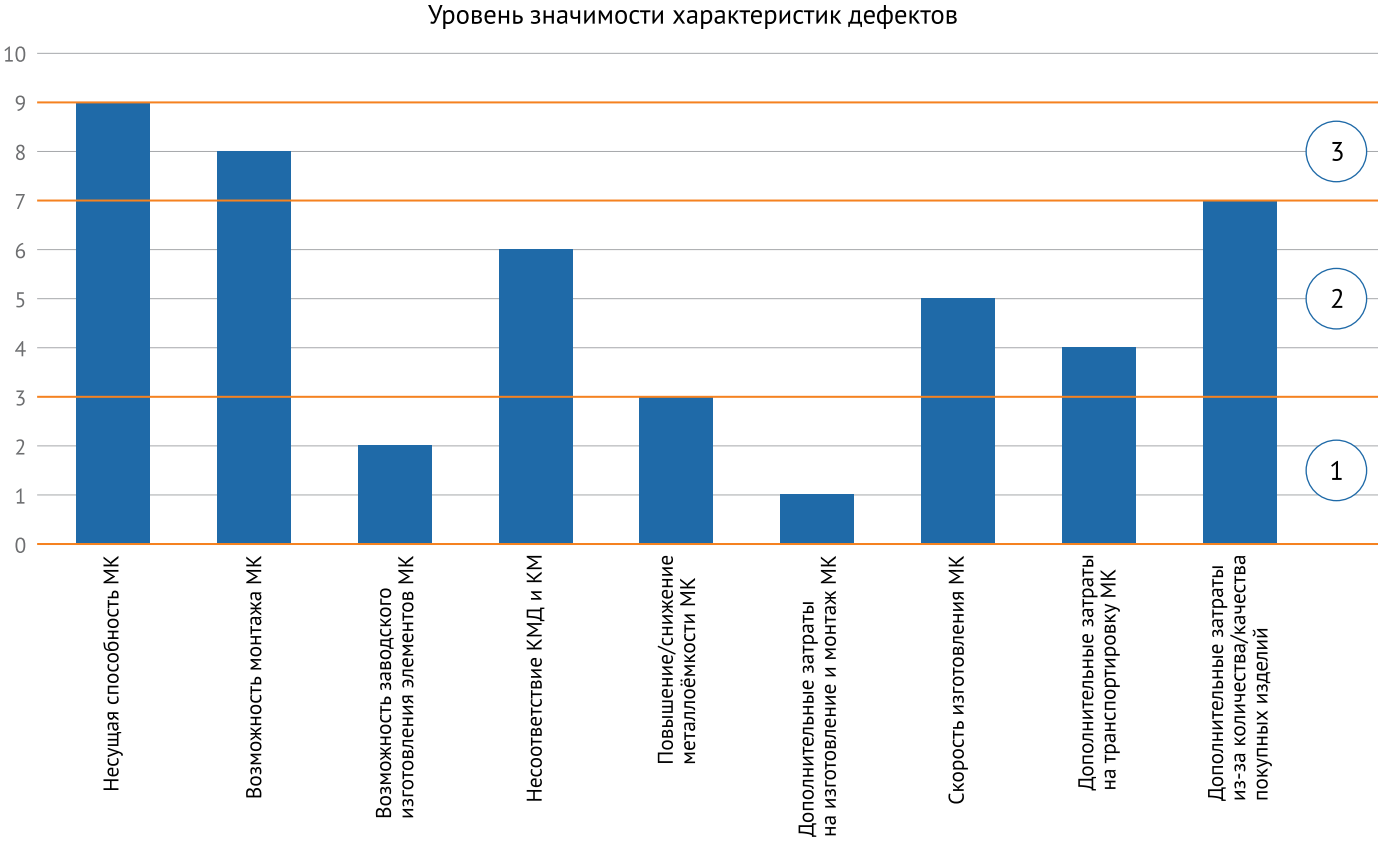


Рис. 1. Диаграмма «Уровень значимости характеристик дефектов»
Fig. 1. Diagram «Level of significance of defect characteristics»

тогда $W = 0,948$ может использоваться в дальнейших исследованиях [14].

Определение весовых коэффициентов характеристик и уровень «шумового поля» характеристик представлены в таблице 3.

Чтобы проиллюстрировать значимость характеристик дефектов в КМД, была составлена диаграмма «Уровень значимости характеристик дефектов» (см. рисунок 1).

Определим, что характеристики МК, находящиеся в области «1» и принимающие значения от 0 до 3, представляют пониженный уровень значимости, т. е. не оказывают существенного влияния на процесс строительства по сравнению с другими характеристиками.

Наиболее значимыми являются те характеристики, которые находятся в области «3» и принимают значения 8 и 9, поскольку они оказывают существенное влияние на безопасность строения и общую экономическую составляющую проекта.

Характеристики МК, входящие в область «2», т. е. со значениями больше 3 и до 7, имеют промежуточное значение значимости по сравнению с описанными ранее характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлические конструкции. Общий курс / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников и др. – 6-е изд. – Москва : Стройиздат, 1986. – 560 с.
2. Журин, Е. А. Основы проектирования, изготовления и монтажа металлических конструкций / Е. А. Журин // Наука молодых – будущее России : сборник научных статей 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых учёных, Курск, 10–11 декабря 2020 г., в 4 томах. Том 3. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 235–238.

Таким образом, следует обращать особое внимание на характеристики, находящиеся на отметках 8–9, и в первую очередь устранять дефекты, которые оказывают на них влияние.

Заключение

Структурный анализ дефектов при составлении комплекта КМД – это важный этап во всей цепочке проектирования и строительства, который требует особого внимания. Знание перечня возможных дефектов и оценка их влияния позволяют заранее минимизировать риски и избежать неприятных последствий. Основная задача проектировщиков – разработка конструктивно-технологических решений, которые позволяют снизить количество дефектов при составлении КМД, что обеспечит не только высокое качество работ, но и безопасность строящихся объектов. Вклад в совершенствование проектного процесса и контроль на всех этапах реализации проектов – ключ к успешному строительству [15].

Следующим этапом работы в области анализа дефектов при составлении комплектов чертежей марки КМД будет являться разработка методики поиска ошибок в этих чертежах, в том числе с использованием ИИ [16].

3. Ривин, Э. М. К вопросу разработки детализированных чертежей металлоконструкций / Э. М. Ривин, А. И. Елисеев, В. В. Разуваев // Химическая техника. – 2015. – № 7. – С. 117–120.
4. Синенко, С. А. Исследование факторов, влияющих на эффективность монтажа металлоконструкций при возведении высотного здания / С. А. Синенко, Т. Ю. Познахирко, А. А. Частников // Наука и бизнес: Пути развития. – 2019. – № 5 – С. 168–171.
5. Контроль качества, разрабатываемого КМД // TopEngineer.ru : [сайт]. – URL: <https://topengineer.ru/kmd/kontrol-kachestva-razrabatyvaemogo-kmd>.

Сокращение продолжительности реализации инвестиционно-строительного проекта за счёт изменения последовательности работ

Reducing the Duration of Investment and Construction Project Implementation by Changing the Sequence of Operations

Каралли Дарья Львовна

Кандидат технических наук, заместитель генерального директора АО «МР-Центр», Россия, 127015, Москва, улица Новодмитровская, 2, корпус 2, этаж 12, помещение XXXI, комната 11, cosmos616@mail.ru

Karalli Daria Lvovna

Candidate of Engineering Sciences, Deputy General Director of MR-Center JSC, Russia, 127015, Moscow, ulitsa Novodmitrovskaya, 2, corpus 2, ehtazh 12, pomeshhenie XXXI, komnata 11, cosmos616@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос возможности сокращения продолжительности реализации инвестиционно-строительного проекта за счёт изменения последовательности выполнения работ. Основное внимание уделено применению процессного моделирования в нотации BPMN как инструмента детального анализа и оптимизации существующих процессов.

Цель исследования заключается в обосновании возможности сокращения длительности реализации инвестиционно-строительного проекта за счёт изменения последовательности выполнения работ, включая перенос части работ нулевого цикла в более ранние этапы, используя BPMN.

Методология исследования основана на процессном моделировании, позволяющем визуализировать и оценивать возможности переноса работ, что способствует устранению временных простоев и облегчает интеграционные процессы.

В статье подчёркивается важность инновационных подхо-

Abstract. The article explores the possibility of reducing the duration of an investment and construction project by changing the sequence of work execution. Particular attention is paid to the use of process modeling in BPMN notation as a tool for detailed analysis and optimization of existing processes.

The aim of the study is to substantiate the possibility of reducing the duration of an investment and construction project by modifying the sequence of operations, including the transfer of certain zero-cycle tasks to earlier stages using BPMN.

The research methodology is based on process modeling, which allows for the visualization and evaluation of the potential for work rescheduling, thereby helping to eliminate idle time and facilitate integration processes.

Введение

В последнее время тема сокращения продолжительности реализации инвестиционно-строительного проекта (ИСП) стала приобретать особую актуальность [1; 2]. Это связано как с ростом конкуренции в строительной отрасли [3], так и с необходимостью минимизации организационных и финансовых рисков [4; 5]. Стандартные подходы к формированию графика ИСП часто опираются на принципиально последовательное выполнение этапов жизненного цикла ИСП, что приводит к временным простоям и вынужденным задержкам [6; 7]. Например, анализ реализованных проектов показывает, что технологический разрыв между завершением подготовительного этапа и началом основных строительных работ может достигать нескольких месяцев [8; 9].

Областью данного исследования являются методы и инструменты управления инвестиционно-строительными проектами, в частности, процессное моделирование и оптимизация последовательности выполнения работ.

дов, таких как процессное моделирование с использованием нотации BPMN, в принятии управленческих решений, направленных на повышение эффективности и производительности. С точки зрения практического применения, процессное моделирование полезно для выявления «узких мест» в проекте, предлагает нетривиальные решения для их выявления и устранения. Также в статье отражено, как внедрение BPMN-моделирования может повысить чёткость и управляемость проектов, а также адаптивность к изменениям, актуальным в условиях применения современных строительных технологий, которые диктуют необходимость гибкости и оперативного реагирования на изменения рыночных условий и требований клиентов.

Ключевые слова: инвестиционно-строительный проект; процессное моделирование; BPMN; сокращение; подготовительный этап; нулевой цикл.

The article highlights the importance of innovative approaches, such as process modeling using BPMN notation, in making managerial decisions aimed at improving efficiency and productivity. From a practical standpoint, process modeling is valuable for identifying bottlenecks in the project and offers non-trivial solutions for their detection and resolution. The article also demonstrates how the implementation of BPMN-based models can enhance project clarity and manageability, as well as adaptability to changes that are relevant under modern construction technologies, which demand flexibility and rapid responses to shifting market conditions and client requirements.

Keywords: investment construction project; process modeling; BPMN; reduction; preparatory phase; zero cycle.

Предметом исследования выступает процесс оптимизации жизненного цикла ИСП за счёт изменения последовательности выполнения работ. Цель данного исследования заключается в обосновании возможности сокращения длительности реализации ИСП через изменение порядка выполнения работ, в том числе за счёт переноса части работ нулевого цикла в подготовительный этап с использованием BPMN-моделирования [10; 11].

Одной из ключевых проблем, выявленных в ходе анализа реализованных проектов, является ограниченная гибкость существующих схем. В частности, не редки случаи, когда из-за жёсткой привязки работ нулевого цикла к основному строительному этапу (начинающимся после получения разрешения на строительство) возникает значительный технологический разрыв между завершением подготовительного этапа и началом основных строительных работ. В итоге проект затягивается, и застройщик терпит убытки [8; 9].

Современные цифровые инструменты, включая процессное моделирование на базе BPMN (Business Process

6. Разработка чертежей КМД // BIM Проект : [сайт]. – URL: <https://mkbim.ru/proektirovanie/razrabotka-chertezhej-kmd>.
7. Олейник, П. П. Определение значимых параметров и факторов для подбора комплектов машин для земляных работ / П. П. Олейник, В. В. Ефимов // Строительное производство. – 2022. – № 2. – С. 42–45.
8. Сляяр, В. А. Организация и математическое планирование эксперимента : учебное пособие / В. А. Сляяр. – Екатеринбург : Издательские решения, 2017. – 137 с.
9. Бешелев, С. Л. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Л. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – Москва : Статистика, 1980. – 263 с.
10. Ключникова, О. В. Основные принципы выбора типа и количества строительных машин для комплексного производства работ / О. В. Ключникова, А. А. Цыбульская, А. Г. Шаповалова // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4 (27). – С. 154.
11. Олейник, П. П. Организация строительного производства / П. П. Олейник. – Москва : Издательство АСВ, 2010. – 576 с.

REFERENCES

1. Belenya, E. I. Metallicheskie konstruksii. Obshhiy kurs [Metal structures. General course] / E. I. Belenya, V. A. Baldin, G. S. Vedenikov et al. – 6th ed. – Moscow : Stroyizdat, 1986. – 560 p.
2. Zhurin, E. A. Osnovy proektirovaniya, izgotovleniya i montazha metallicheskih konstruksij [Fundamentals of design, manufacture and installation of metal structures] / E. A. Zhurin // Nauka molodykh – budushhee Rossii : sbornik nauchnykh statej 5-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchyonykh, Kursk, 10–11 dekabrya 2020 g., v 4 tomakh. Tom 3 [Science of the young – the future of Russia : collection of scientific articles of the 5th International Scientific Conference of Promising developments of Young Scientists, Kursk, December 10–11, 2020, in 4 volumes. Volume 3]. – Kursk : Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet [Southwestern State University], 2020. – Pp. 235–238.
3. Rivin, E. M. K voprosu razrabotki detalirovochnykh chertezhej metallokonstruksij [On the issue of developing detailed drawings of metal structures] / E. M. Rivin, A. I. Eliseev, V. V. Razuvaev // Khimicheskaya tekhnika [Chemical engineering]. – 2015. – No. 7. – Pp. 117–120.
4. Sinenko, S. A. Issledovanie faktorov, vliyayushhih na ehffektivnost' montazha metallokonstruksij [Investigation of factors affecting the effectiveness of metal structures installation during the construction of a high-rise building] / S. A. Sinenko, T. Y. Poznahirko, A. A. Privatnikov // Nauka i biznes: Puti razvitiya [Science and business: Ways of development]. – 2019. – No. 5. – Pp. 168–171.
5. Kontrol' kachestva, razrabatyvayemogo KMD [Quality control developed by MDS] // TopEngineer.ru : [website]. – URL: <https://topengineer.ru/kmd/kontrol-kachestva-razrabatyvaemogo-kmd>.
6. Razrabotka chertezhej KMD [Development of MDS drawings] // BIM Proyeckt [BIM Project] : [website]. – URL: <https://mkbim.ru/proektirovanie/razrabotka-chertezhej-kmd>.
7. Oleinik, P. P. Opredelenie znachimykh parametrov i faktorov dlya podbora komplektov mashin dlya zemlyanykh rabot [Determination of significant parameters and factors for the selection of sets of machines for earthworks] / P. P. Oleinik, V. V. Efimov // Stroitelnoye proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 2. – Pp. 42–45.
8. Sklyar, V. A. Organizatsiya i matematicheskoe planirovanie

12. Загорская, А. В. Применение методов экспертной оценки в научном исследовании. Необходимое количество экспертов / А. В. Загорская, А. А. Лапидус // Строительное производство. – 2020. – № 3. – С. 21–34.
13. Марголин Е. Методика обработки данных экспертного опроса / Е. Марголин // Полиграфия. – 2006. – № 5. – С. 14–16.
14. Таблица значимости коэффициента корреляции (по Пирсону) // Электронная библиотека TheLib.Ru : [сайт]. – URL: https://thelib.ru/books/konovalova_marina/eksperimentalnaya_psihologiya_konspekt_lekciy-read-16.html?ysclid=meyk01caoo764751251.
15. Лапидус, А. А. Потенциал эффективности организационно-технологических решений строительного объекта / А. А. Лапидус // Вестник МГСУ. – 2014. – № 1. – С. 175–180.
16. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges / S. O. Abioye, J. M. D. Delgado, L. O. Oyedele, L. Akanbi, M. Bilal, A. Ajayi, O. O. Akinade, A. Ahmed // Journal of Building Engineering. – 2021. – No. 44. – Pp. 1–13.

ehksperimenta: uchebnoe posobie [Organization and mathematical planning of the experiment : a textbook] / V. A. Sklyar. – Yekaterinburg : Izdatel'skiye resheniya, 2017. – 137 p.

9. Beshelev, S. L. Matematiko-statisticheskie metody ehkspertnykh otsenok [Mathematical and statistical methods of expert assessments] / S. L. Beshelev, F. G. Gurvich. – Moscow : Statistika, 1980. – 263 p.
10. Klyuchnikova, O. V. Osnovnye printsipy vibora tipa i kolichestva stroitelnykh mashin dlya kompleksnogo proizvodstva rabot [Basic principles of choosing the type and quantity of construction machines for complex production of works] / O. V. Klyuchnikova, A. A. Tsybul'skaya, A. G. Shapovalova // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2013. – No. 4 (27). – P. 154.
11. Oleinik, P. P. Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva / P. P. Oleinik. – Moscow : Izdatel'stvo ASV, 2010. – 576 p.
12. Zagorskaya, A. V. Primenenie metodov ehkspertnoj otsenki v nauchnom issledovanii. Neobkhodimoe kolichestvo ehkspertov [Application of expert assessment methods in scientific research. The required number of experts] / A. V. Zagorskaya, A. A. Lapidus // Stroitelnoye proizvodstvo [Construction production]. – 2020. – No. 3. – Pp. 21–34.
13. Margolin, E. Metodika obrabotki dannykh ehkspertnoho oprosa [Methods of processing expert survey data] / E. Margolin // Poligrafiya [Polygraphy]. – 2006. – No. 5. – Pp. 14–16.
14. Tablitsa znachimosti koehffitsienta korrelyatsii (po Pirsonu) [Correlation coefficient significance table (according to Pearson)] // Ehlektronnaya biblioteka TheLib.Ru [Electronic Library TheLib.Ru] : [website]. – URL: https://thelib.ru/books/konovalova_marina/eksperimentalnaya_psihologiya_konspekt_lekciy-read-16.html?ysclid=meyk01caoo764751251.
15. Lapidus, A. A. Potentsial ehffektivnosti organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij stroitel'nogo ob'ekta [Efficiency potential of organizational and technological solutions of a construction object] / A. A. Lapidus // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2014. – No. 1. – Pp. 175–180.
16. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges / S. O. Abioye, J. M. D. Delgado, L. O. Oyedele, L. Akanbi, M. Bilal, A. Ajayi, O. O. Akinade, A. Ahmed // Journal of Building Engineering. – 2021. – No. 44. – Pp. 1–13.

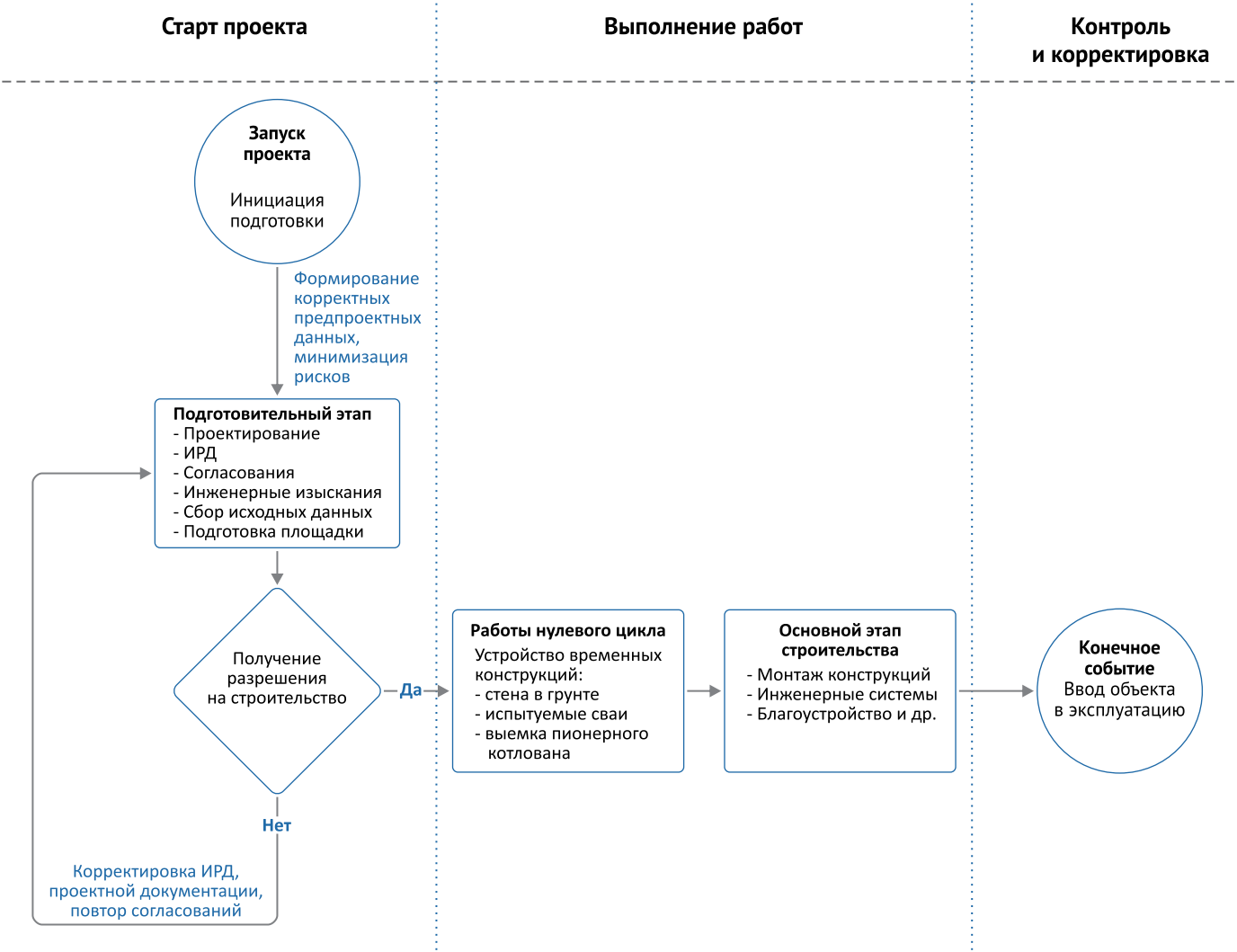


Рис. 1. BPMN-схема традиционной последовательности работ
Fig. 1. BPMN diagram of the traditional sequence of operations

Model and Notation), позволяют гибче подходить к формированию календарных планов ИСП [10; 11]. В этом контексте становится актуальным вопрос возможности обоснования переноса части работ нулевого цикла в подготовительный этап, что могло бы сократить длительность всего жизненного цикла проекта [12; 13].

Гипотеза исследования заключается в том, что использование BPMN-моделирования для изменения последовательности выполнения работ может существенно улучшить управляемость проектом, сократить временные потери и повысить общую эффективность проекта [14; 9].

В последние годы особую актуальность приобретает применение процессного моделирования бизнес-процессов на базе нотации, которая обеспечивает наглядное описание последовательности, логики и взаимосвязей всех операций в жизненном цикле ИСП [15; 16]. Такой подход позволяет не только выявлять «узкие места» и резервы для сокращения продолжительности реализации ИСП, но и интегрировать инновационные решения, например, перенос части работ нулевого цикла в подготовительный этап, что способствует более рациональному использованию ресурсов и повышает устойчивость реализации проектов [10; 11].

Несмотря на эффективность BPMN-моделирования в смежных отраслях, в строительстве вопросы интеграции цифровых моделей в организационно-технологическую структуру ИСП остаются недостаточно проработанными

[12; 13]. Научный интерес представляет разработка и теоретическое обоснование методик сокращения продолжительности реализации ИСП за счёт изменения последовательности работ с учётом современных требований и практик цифровизации строительного производства [11; 13].

Задачи исследования включают анализ текущих методов управления проектами, изучение BPMN и его применения в строительстве, а также разработку рекомендаций по изменению последовательности выполнения работ для повышения эффективности проектов.

Материалы и методы

В исследовании использовалось процессное моделирование с применением нотации BPMN [10; 8]. С помощью BPMN были построены схемы бизнес-процессов как для традиционной, так и для альтернативной последовательности выполнения работ. Это позволило визуализировать ключевые этапы реализации инвестиционно-строительного проекта и выявить резервы для сокращения продолжительности его жизненного цикла.

Возможность переноса части работ нулевого цикла в подготовительный этап оценивалась с учётом совокупности критериев:

- технологическая независимость операций;
- отсутствие воздействия на капитальные конструкции;

- соответствие требованиям нормативной документации (включая СП 48.13330.2019 и положения Градостроительного кодекса РФ);
- наличие положительного практического опыта реализации подобных решений в проектах, прошедших экспертизу.

В частности, к работам, потенциально допускаемым к переносу, отнесены: устройство стены в грунте, выполнение свайных испытаний (кустов) и выемка пионерного котлована – при условии наличия геотехнического обоснования и проектной проработки, оформленной отдельно в составе ППР.

Для обоснования целесообразности переноса указанных операций применялось априорное ранжирование, позволившее определить наиболее подходящие работы по критериям независимости и технологической допустимости [11].

Кроме того, был выполнен экономико-математический анализ различных сценариев организации работ [2; 5]. Это позволило количественно оценить влияние изменений в последовательности выполнения операций на общую продолжительность инвестиционно-строительного проекта, а также определить возможный экономический эффект для участников проекта.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования было построено две BPMN-схемы: традиционной и оптимизированной последовательности выполнения работ в инвестиционно-строительном проекте.

В традиционной схеме подготовительный этап и работы нулевого цикла строго разделены во времени. После завершения изысканий, проектирования и оформления исходно-разрешительной документации начинается этап получения разрешения на строительство [4; 10]. Только затем подрядчик приступает к работам нулевого цикла (рисунок 1). Такой подход показывает, как анализ реали-

зованных проектов приводит к значительным временным разрывам между этапами и организационным простоям.

Для определения возможности переноса части работ нулевого цикла в подготовительный этап выполнено априорное ранжирование [11; 17]. В качестве критериев ранжирования выбраны:

- технологическая независимость операции;
- отсутствие воздействия на капитальные конструкции;
- выполнение требований безопасности и наличие положительного опыта реализации таких решений на практике.

По результатам ранжирования к работам, допустимым к переносу, отнесены:

- устройство стены в грунте;
- выполнение свай (испытываемые кусты);
- частичная выемка грунта котлована.

На основании выявленного списка работ и анализа логики их выполнения была построена альтернативная BPMN-схема, отражающая интеграцию части работ нулевого цикла в подготовительный этап. В этой модели работы выполняются параллельно с оформлением разрешительной документации, что позволяет сократить временные разрывы между этапами [8; 11] (рисунок 2).

Для количественной оценки эффекта от внедрения новой схемы организации работ был проведён экономико-математический анализ [2; 5]. Расчёты показали, что интеграция отдельных операций нулевого цикла в подготовительный этап позволяет сократить продолжительность жизненного цикла проекта с 48 до 39 месяцев. Организационные простои в оптимизированной схеме были полностью устранены (снижение с 12 до 0 месяцев). Это обеспечивает серьёзную экономию по времени порядка 18 % по сравнению с традиционной моделью (таблица 1) [2; 5].

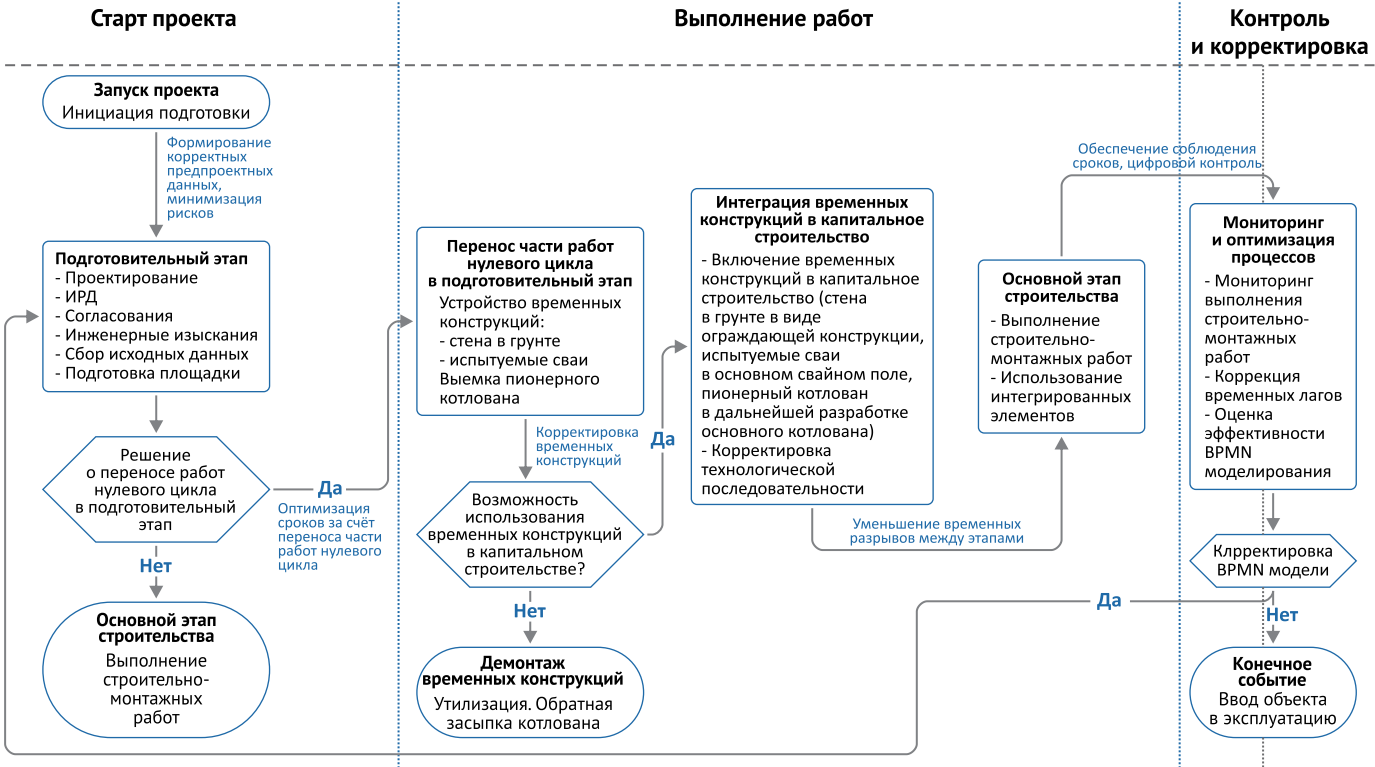


Рис. 2. BPMN-схема интеграции отдельных работ нулевого цикла в подготовительный этап
Fig. 2. BPMN diagram of the integration of specific zero cycle tasks into the preparatory stage

Показатель	Традиционная схема	Оптимизированная схема
Продолжительность цикла, мес.	48	39
Организационные простои, мес.	12	0
Экономия, %	–	18,8

Табл. 1. Сравнительные показатели продолжительности жизненного цикла и экономического эффекта
Tab. 1. Comparative indicators of life cycle duration and economic effect

Системный анализ показывает, что сокращение продолжительности реализации достигается за счёт:

- параллельного выполнения работ при строгом учёте ограничений;
- формирования гибкой структуры бизнес-процессов с возможностью быстрой корректировки;
- обеспечения прозрачности взаимодействия между участниками проекта.

Обсуждение

Проведённое исследование подтверждает научную и практическую целесообразность использования BPMN для формализации, анализа и оптимизации организационно-технологических решений в ИСП. Интеграция работ

нулевого цикла в подготовительный этап, реализованная на уровне цифрового моделирования, позволяет заложить основу для последующего сокращения продолжительности реализации ИСП и повышения устойчивости проектов.

Заключение

Проведённое исследование подтверждает возможность сокращения продолжительности реализации жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта за счёт изменения последовательности выполнения работ и переноса части операций нулевого цикла в подготовительный этап.

Такой подход, реализованный средствами BPMN-моделирования и обоснованный априорным ранжированием, позволяет выявить резервы сокращения сроков строительства, повысить эффективность использования ресурсов и устранить организационные простои без нарушения действующих нормативных требований. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку типовых сценариев оптимизации и внедрение цифровых инструментов планирования в практику управления строительством [4; 10; 11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, С. В. Оптимизация сроков строительства с использованием современных методов календарного планирования / С. В. Кузнецов, И. В. Фадеев // Вестник МГСУ. – 2019. – № 5. – С. 95–102.

2. Методы и формы организации строительного производства : учебно-методическое пособие / А. А. Лapidус, А. Н. Ларионов, И. Л. Абрамов, О. Б. Забелина. – Москва : МГСУ, 2022. – 62 с.

3. Организация строительства СНиП 12-01-2004 : Свод правил СП 48.13330.2019 : в ред. Изменения № 1, утв. Приказом Минстроя РФ от 28.03.2022 № 207/пр : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2019 г. № 861/пр и введён в действие с 25 июня 2020 г. // Росстандарт. – Москва : Минстрой России, 2019. – 62 с.

4. Репин, В. В. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN / В. В. Репин. – Москва : Перо, 2018. – 83 с.

5. Стерник Г. М. Методология моделирования и прогнозирования жилищного рынка : монография / Г. М. Стерник, С. Г. Стерник. – Москва : Проспект, 2018. – 586 с.

6. Тускаева, З. Р. Методология комплексного управления техническим потенциалом строительного производства : диссертация ... доктора наук : 2.1.7 / Тускаева Залина Руслановна [Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»]. – Москва, 2024. – 295 с.

7. Al-Siah, H. BIM and BPMN 2.0 Integration for Interoperability Challenge in Construction Industry / H. Al-Siah, A. Fioravanti. – DOI 10.1007/978-3-031-29515-7_21 // Technological Imagination in the Green and Digital Transition / Conference paper, 30 June 2023. – 2023. – Pp. 227–235. – (The Urban Book Series).

8. Conditions of Contract for Construction : for Building and Engineering Works / Federation Internationale Des Ingenieurs-Conseils, FIDIC (International Federation of Consulting

Engineers). – 2nd ed. – Geneva : FIDIC, 2017. – 388 p.

9. Du, G. Research on Problems and Strategies of Optimisation in Construction Project Management / G. Du. – DOI 10.25236/IJFET.2023.051002 // International Journal of Frontiers in Engineering Technology. – 2023. – Vol. 5, Iss. 10. – Pp. 9–15.

10. Project, programme and portfolio management – Context and concepts : International Standard ISO 21500:2021 : Guidance on project management / International Organization for Standardization. – 2nd ed. – Geneva : ISO, 2021. – 56 p.

11. Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling / H. Kerzner. – 13th ed. – Hoboken, NJ : Wiley, 2022. – 832 p.

12. Morris, P. W. G. Reconstructing Project Management / P. W. G. Morris. – New York : John Wiley & Sons Limited, 2018. – 343 p.

13. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). – 7th ed. – Newtown Square, Pennsylvania : Project Management Institute, 2021. – 370 p.

14. Smith, N. J. Managing Risk in Construction Projects / N. J. Smith, T. Merna, P. Jobling. – 3rd ed. – Chichester : Wiley-Blackwell, 2014. – 256 p.

15. Терентьева, Н. Ю. Управление жизненным циклом инвестиционно-строительных проектов: учебное пособие для студентов по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» / Н. Ю. Терентьева ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ИргУПС). – Иркутск : Мегapринт, 2021. – 123 с.

16. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 13 июня 2023 года) : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года. – Москва, 2004.

17. Delays in Construction Projects: The Case of Jordan / G. Sweis, R. Sweis, A. A. Hammad, A. Shboul // International Journal of Project Management. – 2008. – Vol. 26, No. 6. – Pp. 665–674.

uchebno-metodicheskoe posobie [Methods and forms of organization of construction production : an educational and methodical manual] / A. A. Lapidus, A. N. Larionov, I. L. Abramov, O. B. Zabelina. – Moscow : MGSU, 2022. – 62 p.

3. Organizatsiya stroitel'stva SniP 12-01-2004 : Svod pravil SP 48.13330.2019 [Organization of construction SniP 12-01-2004 : Code of Rules SP 48.13330.2019] : v red. Izmeneniya

№ 1, utv. Prikazom Ministroya RF ot 28.03.2022 № 207/pr [as amended. Amendments No. 1, approved by By Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated 03/28/2022 No. 207/pr] : utverzhdyon prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 24 dekabrya 2019 g. № 861/pr i vvedyon v dejstvie s 25 iyunya 2020 g. [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 24, 2019 No. 861/pr and entered into force on June 25, 2020] // Rosstandart [Rosstandart]. – Moscow : [Ministry of Construction of Russia], 2019. – 62 p.

4. Repin, V. V. Modelirovanie biznes-protseessov v notatsii BPMN [Modeling of business processes in BPMN notation] / V. V. Repin. – Moscow : Pero Publ., 2018. – 83 p.

5. Sternik G. M. Metodologiya modelirovaniya i prognozirovaniya zhilishhnogo rynka : monografiya [Methodology of modeling and forecasting of the housing market : a monograph] / G. M. Sternik, S. G. Sternik. – Moscow : Prospekt Publ., 2018. – 586 p.

6. Tuskayeva, Z. R. Metodologiya kompleksnogo upravleniya tekhnicheskimi potentsialom stroitel'nogo proizvodstva [Methodology of integrated management of the technical potential of construction production] : dissertatsiya ... doktora nauk : 2.1.7 [dissertation ... Doctor of Sciences : 2.1.7] / Tuskayeva Zalina Ruslanovna [Mesto zashhity: FGBOU VO «Natsional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet»] [Place of defense: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering"]. – Moscow, 2024. – 295 p.

7. Al-Siah, H. BIM and BPMN 2.0 Integration for Interoperability Challenge in Construction Industry / H. Al-Siah, A. Fioravanti. – DOI 10.1007/978-3-031-29515-7_21 // Technological Imagination in the Green and Digital Transition / Conference paper, 30 June 2023. – 2023. – Pp. 227–235. – (The Urban Book Series).

8. Conditions of Contract for Construction : for Building and Engineering Works / Federation Internationale Des Ingenieurs-Conseils, FIDIC (International Federation of Consulting Engineers). – 2nd ed. – Geneva : FIDIC, 2017. – 388 p.

9. Du, G. Research on Problems and Strategies of Optimisation

УДК 69.05

Модернизация организационно-технологических решений при капитальном ремонте многоквартирных домов

Modernization of Organizational and Technological Solutions During Capital Repair of Apartment Buildings

Лapidус Азaрий 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@mgsu.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, lapidusaa@mgsu.ru

Минниханова Гульназ Сириновна

Советник Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации; аспирант кафедры «Технология и строительное производство», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, gs@minnikhanova.ru

Minnikhanova Gulnaz Sirinovna

Advisor to the Minister of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation; Postgraduate Student of the Department of Technology and Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, gs@minnikhanova.ru

in Construction Project Management / G. Du. – DOI 10.25236/IJFET.2023.051002 // International Journal of Frontiers in Engineering Technology. – 2023. – Vol. 5, Iss. 10. – Pp. 9–15.

10. Project, programme and portfolio management – Context and concepts : International Standard ISO 21500:2021 : Guidance on project management / International Organization for Standardization. – 2nd ed. – Geneva : ISO, 2021. – 56 p.

11. Kerzner, H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling / H. Kerzner. – 13th ed. – Hoboken, NJ : Wiley, 2022. – 832 p.

12. Morris, P. W. G. Reconstructing Project Management / P. W. G. Morris. – New York : John Wiley & Sons Limited, 2018. – 343 p.

13. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). – 7th ed. – Newtown Square, Pennsylvania : Project Management Institute, 2021. – 370 p.

14. Smith, N. J. Managing Risk in Construction Projects / N. J. Smith, T. Merna, P. Jobling. – 3rd ed. – Chichester : Wiley-Blackwell, 2014. – 256 p.

15. Terentyeva, N. Y. Upravlenie zhiznennym tsiklom investitsionno-stroitel'nykh proektov: uchebnoe posobie dlya studentov po napravleniyu podgotovki 08.04.01 «Stroitel'stvo» [Life cycle management of investment and construction projects: a textbook for students in the field of 08.04.01 "Construction"] / N. Y. Terentyeva ; Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Irkutskiy gosudarstvennyj universitet putej soobshheniya» (FGBOU VO IrGUPS) [Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State University of Railway Communications" (FSBEI HE IrGUPS)]. – Irkutsk : Megaprint, 2021. 123 p.

16. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii (s izmeneniyami na 13 iyunya 2023 goda) [Urban Planning Code of the Russian Federation (as amended on June 13, 2023)] : 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]. – Moscow, 2004.

17. Delays in Construction Projects: The Case of Jordan / G. Sweis, R. Sweis, A. A. Hammad, A. Shboul // International Journal of Project Management. – 2008. – Vol. 26, No. 6. – Pp. 665–674.

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_49

Аннотация. В статье рассматриваются организационно-технологические решения, реализуемые в рамках капитального ремонта многоквартирных домов, и исследуются возможности их модернизации. Основное внимание уделяется цифровым технологиям и автоматизации процессов, использованию инновационных материалов и технологий, улучшению управления проектами, повышению безопасности и качества работ, а также внедрению экологических и устойчивых решений.

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной модели, интегрирующей BIM-технологии, роботизацию и адаптивные управленческие практики.

Цель исследования заключается в систематизации направлений инновационных технологий и управленческих решений, применяемых в жилищно-коммунальном хозяйстве для повышения эффективности капитального ремонта. Результатом стала разработанная модель модернизации капитального ремонта многоквартирных домов.

В работе анализируются пути совершенствования управленческих решений в сфере капитального ремонта жилых домов для повышения скорости, безопасности и экономической эффективности работ. Основное внимание уделено критическому разбору ключевых сложностей: устаревшие методы планирования, низкая координация участников процесса (управляющие

Abstract. The article examines organizational and technological solutions implemented during the capital repair of apartment buildings and explores possibilities for their modernization. The focus is on digital technologies and process automation, the use of innovative materials and technologies, improvements in project management, enhancement of safety and work quality, and the integration of environmentally sustainable solutions.

The scientific novelty of the research lies in the development of a comprehensive model integrating BIM technologies, robotics and adaptive management practices.

The purpose of the study is to systematize the directions of innovative technologies and management solutions used in housing and communal services to improve the efficiency of capital repairs. The result was the developed model of modernization of capital repairs of apartment buildings.

The work analyzes ways to improve management practices in the field of residential building repairs to increase the speed, safety, and cost-effectiveness of operations. Particular attention is paid to a critical analysis of key challenges: outdated planning methods, poor coordination among stakeholders (management

Введение

Капитальный ремонт многоквартирных домов (МКД) в России остаётся важной задачей в условиях устаревания жилищного фонда. Значительная часть зданий, находящихся в эксплуатации, требует срочного вмешательства, однако традиционные методы ремонта демонстрируют низкую эффективность [1]. Это обусловлено фрагментарным подходом к планированию, применением устаревших технологий и недостаточной координацией между участниками процесса. Капитальный ремонт многоквартирных домов в России традиционно осуществляется по устоявшимся организационно-технологическим решениям (ОТР), включающим:

- планово-предупредительный подход к ремонтным работам;
- разрозненное выполнение отдельных видов работ (фасады, кровля, инженерные системы) без комплексного учёта их взаимосвязи;
- ручные методы обследования зданий и ведения документации;
- использование традиционных материалов без учёта энергоэффективности;
- линейную систему управления проектами с минимальной координацией между участниками.

компании, подрядчики, жильцы), технологическая отсталость. В статье приводятся инновационные инструменты для трансформации отрасли, среди которых – использование информационного моделирования зданий (BIM), автоматизация, а также замена традиционных материалов на современные и энергоэффективные. Рассматривается опыт разных городов, реализующих пилотные проекты по цифровизации процессов, и предлагаются рекомендации по совершенствованию процесса управления и оценки состояний несущих конструкций здания.

Исследование подтверждает актуальность разработки адаптированных управленческих моделей, способных обеспечить переход от устаревших практик к технологически продвинутым решениям. Устойчивая модернизация капремонта многоквартирных домов требует синхронного обновления технологий, управления и нормативной базы. Реализация предложенной модели позволит не только сократить сроки и затраты на работы, но и обеспечить соответствие жилищного фонда глобальным тенденциям энергоэффективности, безопасности и цифровой трансформации.

Ключевые слова: модернизация; капитальный ремонт многоквартирных домов; цифровизация; организационно-управленческие решения; BIM-технологии; инновационные подходы.

companies, contractors, residents), and technological backwardness. The article introduces innovative tools for industry transformation, including the use of Building Information Modeling (BIM), automation, and the replacement of traditional materials with modern, energy-efficient alternatives. Case studies of pilot digitalization projects in various cities are examined, and recommendations are provided for optimizing management processes and assessing the condition of building load-bearing structures.

The research confirms the relevance of developing adaptive management models capable of transitioning from outdated practices to technologically advanced solutions. Sustainable modernization of apartment building repairs requires synchronized updates to technologies, management practices, and regulatory frameworks. The implementation of the proposed model will not only reduce project timelines and costs but also align the housing stock with global trends in energy efficiency, safety, and digital transformation.

Keywords: modernization; capital repair of apartment buildings; digitization; organizational and managerial solutions; BIM technologies; innovative approaches.

Современные вызовы в рамках капитального ремонта многоквартирных домов, такие как необходимость повышения энергоэффективности и экологичности, требуют внедрения инновационных организационно-технологических решений. Организационно-технологические решения представляют собой системное сочетание управления и инноваций, направленных на достижение современных стандартов. В контексте капитального ремонта многоквартирных домов это подразумевает синхронизацию цифровых инструментов, современных материалов и адаптивных управленческих практик.

Материалы и методы

Исследование основано на таких общенаучных подходах, как системный, сравнительный анализ – для выявления взаимосвязей между этапами капитального ремонта, изучение технологий, включая цифровизацию (BIM-моделирование, IoT-датчики, дроны), использование инновационных материалов (PIR-утеплители, солнечные панели) и автоматизацию (роботизированная штукатурка, использование искусственного интеллекта для прогнозирования износа), а также на анализе научных публикаций. Приведены примеры регионального опыта Московской, Ленинградской, Свердловской областей и Татарстана. Данные методы исследования спо-

собствовали определению ключевых направлений внедрения инновационных решений в процесс капитального ремонта, а также детальному анализу их содержания и практической реализации.

Модернизация: суть и значимость в строительстве

Модернизация в контексте капитального ремонта многоквартирных домов – это комплексный процесс обновления организационных, технологических и управленческих подходов с целью повышения эффективности, качества и долговечности работ. В отличие от простого восстановления, модернизация предполагает внедрение инноваций, которые трансформируют не только физическую инфраструктуру, но и методы взаимодействия между участниками процесса.

В строительстве модернизация становится ответом на ключевые вызовы:

1. Технологическая отсталость. Использование устаревших материалов и ручных методов увеличивает сроки и затраты [2].
2. Экологические требования. Рост стандартов энергоэффективности и сокращение углеродного следа [3].
3. Управленческая неэффективность. Фрагментарное планирование и низкая координация между подрядчиками, жильцами, ресурсоснабжающими организациями и управляющими компаниями [4].

Модернизация – это не просто замена коммуникаций, а переход к системному мышлению, где каждый элемент ремонта взаимосвязан с долгосрочными целями устойчивого развития. Например, замена кровли должна сопровождаться установкой солнечных панелей в солнечных регионах, а ремонт фасадов – интеграцией датчиков для мониторинга износа. Важность модернизации подтверждается и экономическими расчётами. К примеру, внедрение BIM-технологий и энергоэффективных материалов сокращает совокупные затраты на 15–25 % в течение 10 лет за счёт снижения эксплуатационных расходов.

Основные проблемы и пути их преодоления

Одной из ключевых проблем капитального ремонта МКД является отсутствие системного подхода. Работы выполняются изолированно, без учёта взаимосвязи инженерных систем. Например, замена кровли без модернизации водоотведения приводит к повторным вмешательствам, увеличивая затраты. Низкая координация между управляющими компаниями, подрядчиками и жильцами усугубляет ситуацию, вызывая конфликты и задержки. Решением может стать внедрение цифровых платформ для управления проектами, таких как региональные системы мониторинга, которые уже апробированы в Московской и Ленинградской областях [5].

Технологическая отсталость также остаётся барьером. Использование таких материалов, как асбестоцементные трубы, снижает долговечность ремонта. Например, переход на современные утеплители, такие как пенополиизоцианурат (PIR), позволяет сократить теплопотери на 25–30 %. Однако внедрение таких материалов тормозится отсутствием нормативной базы и недостатком финансирования. Или, к примеру, модернизация отопительных систем, включая установку радиаторов с терморегуляторами и автоматизацию управления теплоснабжением, что способствует повышению энергоэффективности за счёт рационального расхода тепловой энергии. Дополнительным решением является интеграция вентиляцион-

ных систем с рекуперацией, где тепло отводимого воздуха используется для предварительного подогрева поступающих воздушных масс. Такой подход не только минимизирует теплопотери, но и обеспечивает поддержание комфортного микроклимата в помещениях за счёт улучшения качества воздухообмена [6].

Цифровизация

Цифровые технологии становятся основой модернизации. Building Information Modeling (BIM) открывает новые возможности для координации участников – позволяет создать единую информационную среду, где архитекторы, инженеры, подрядчики и управляющие компании работают с актуальными данными о здании. Как отмечено в научной работе «BIM-технологии, используемые в ходе строительства», «совершенствование процессов, направленных на достижение поставленных целей, с использованием современных технологий открывает новые возможности в строительной отрасли. Упрощается работа специалистов, сокращаются временные и финансовые затраты на подготовку проектной документации, повышается точность расчётов» [7]. Благодаря BIM создаются комплексные модели зданий, при этом оптимизируется проектирование и сокращаются сроки работ [8]. BIM позволяет создавать не просто 3D-модели, а цифровые двойники зданий, которые интегрируют данные о материалах, стоимости, энергопотреблении и даже прогнозируют износ конструкций. Применение 3D-моделирования объектов обеспечивает гибкость и детализацию планирования на всех этапах их жизненного цикла, включая проектирование, строительство и капитальный ремонт, что способствует повышению точности и эффективности работ [9]. Пилотные проекты в Татарстане и Свердловской области показали, что BIM снижает количество ошибок на 15–20 %.

BIM-технологии оптимизируют капитальный ремонт жилых зданий на всех этапах жизненного цикла – от обследования до эксплуатации. На этапе обследования лазерное сканирование формирует 3D-модель, которая дополняется проектными данными (сроками, ресурсами). 4D-модель контролирует сроки работ, отображая плановые и фактические показатели, что позволяет корректировать задачи в режиме реального времени. 5D-модель анализирует распределение ресурсов, автоматически выявляя перерасход бюджета через сопоставление плановой и фактической стоимости. Интеграция документов в облачное BIM-пространство обеспечивает централизованный доступ к данным, упрощая взаимодействие участников. На этапе эксплуатации 6D-модель объединяет информацию о работе оборудования и затратах. Таким образом, BIM обеспечивает гибкое планирование, прозрачный контроль и долгосрочную эффективность ремонтных работ за счёт цифровых решений [9].

Потенциал BIM раскрывается полностью в том числе в сочетании с другими технологиями. Например, интеграция с IoT-датчиками (интернет вещей) для мониторинга трещин в стенах превращает здания в «умные» системы, что повышает безопасность [4]. В контексте капитального ремонта многоквартирных домов актуальным также становится внедрение систем Smart Home, которые традиционно ассоциируются с автоматизацией бытовых устройств [10]. Однако их потенциал гораздо шире: интеграция «умных» систем позволяет централизованно управлять отоплением, водоснабжением, вентиляцией, охранными системами и видеонаблюдением, что на-

прямую способствует ресурсосбережению и повышению безопасности. Например, автоматизация отопления на основе данных датчиков температуры и данных жильцов сокращает энергопотребление на 15–20 %, а интеллектуальные системы видеонаблюдения минимизируют риски вандализма. Важно отметить, что концепция Smart Home эволюционирует в направлении «умных городов», где автоматизированные информационные системы решают комплекс задач городского хозяйства. Внедрение подобных решений в МКД, особенно в рамках капитального ремонта, становится частью глобальной трансформации.

Таким образом, цифровые технологии, подкреплённые государственной стратегией, формируют новую парадигму строительной отрасли. Они превращают капитальный ремонт и возведение зданий в точную науку, где каждый этап просчитан до мелочей, а решения основаны на данных, а не интуиции.

Инновационные технологические подходы к повышению безопасности и качества работ

Одним из ключевых направлений модернизации является интеграция цифровых технологий и автоматизированных систем, трансформирующих традиционные методы выполнения задач. Применение дронов и робототехники, использование виртуальной и дополненной реальности (VR/AR), а также внедрение систем управления качеством (QMS) – всё это в совокупности формирует новую парадигму в организации ремонтных работ.

Автоматизация и роботизация тоже играют значительную роль. К примеру, роботизированная штукатурка, созданная и испытанная в Новосибирске, сократила трудозатраты на 30 %, демонстрируя потенциал технологии для снижения себестоимости. Подобные технологии особенно актуальны для России, где нехватка квалифицированных строителей ощущается остро: по оценкам НОСТРОЙ, дефицит кадров в отрасли превышает 40 %. Внедрение роботов могло бы компенсировать этот дисбаланс, но требует пересмотра нормативной базы, которая пока не учитывает возможности автоматизированных систем.

Важным направлением является внедрение искусственного интеллекта для прогнозирования износа конструкций [11]. Традиционные методы обследования конструкций МКД, такие как визуальный осмотр фасадов, кровель или вентиляционных шахт, сопряжены с высоким риском для персонала, особенно при работе на высоте или в условиях частичного разрушения конструкций. Несмотря на высокий уровень специалистов, сохраняется риск ошибочной интерпретации данных, что может привести к некорректной оценке состояния несущих конструкций. Подобные ошибки способны спровоцировать применение необоснованных или опасных методов ремонта и технического обслуживания, ставя под угрозу безопасность эксплуатации объектов [12].

Решением этой проблемы становится применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и специализированных роботов. Дроны, оснащённые камерами высокого разрешения, лидерами и тепловизорами, позволяют проводить детальную диагностику труднодоступных участков без необходимости подъёма их на высоту [13]. Например, аэрофотосъёмка фасадов помогает выявлять трещины, коррозию арматуры или дефекты утепления с точностью до 1 мм. Для задач, требующих физического вмешательства, таких как очистка вентиляционных систем или демонтаж аварийных элементов, используются роботизированные платформы с манипуляторами. Это

не только снижает травматизм, но и ускоряет процесс: по данным исследований, автоматизация инспекции сокращает время обследования на 40–60 %. Кроме того, робототехника эффективна в условиях загазованности, радиации или повышенной температуры, где присутствие человека недопустимо. Специалисты Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) работают над программой, которая с помощью технологий искусственного интеллекта (ИИ) и беспилотников сможет выявлять аварийные здания и причины разрушений по фотографиям трещин, а в Новгородской области беспилотники уже тестируют тепловым зрением крыши домов.

Сегодня обучение сотрудников работе с новыми технологиями и соблюдению норм безопасности становится критически важным элементом модернизации [14]. Виртуальная реальность позволяет моделировать реалистичные сценарии, такие как работы на высоте, аварийные ситуации или взаимодействие с робототехникой, в контролируемой среде [15]. Тренажёры VR дают возможность отработать эвакуацию при обрушении конструкций или освоить управление дронами без риска повреждения оборудования. Дополненная реальность (AR) применяется непосредственно на объектах: с помощью умных очков или планшетов рабочие могут накладывать цифровые модели коммуникаций на физические конструкции, сверяться с проектной документацией в режиме реального времени или получать пошаговые инструкции. Это минимизирует ошибки при монтаже инженерных систем.

К тому же, как отмечает Д. С. Сарычев, «система с применением VR позволяет организовать единое информационно-справочное пространство для технологов и конструкторов – состав изделия и разрабатываемые технологии сохраняются в общей базе данных. Технология даёт возможность автоматически отслеживать состояние работ над каждым техпроцессом, автоматически выдавать задания смежным отделам проекта, оповещать заинтересованных пользователей о завершении отдельных этапов проектирования, а также уменьшении вероятности типичных ошибок при проектировании, которые возникают из-за отсутствия видения общей картины проектируемого объекта» [15].

Обеспечение соответствия работ нормативным требованиям невозможно без цифровизации процессов документооборота и мониторинга. Современные QMS, например, платформы на базе ISO 9001, интегрируют данные с дронов, датчиков IoT и AR-устройств, формируя единую систему анализа. Программные решения автоматически генерируют отчёты о выявленных дефектах, отслеживают сроки устранения несоответствий и контролируют расход материалов. Блокчейн-технологии обеспечивают прозрачность и неизменность записей, что особенно важно при аудитах. Внедрение QMS также способствует превентивному управлению рисками: алгоритмы на основе искусственного интеллекта прогнозируют износ конструкций и предлагают оптимизацию графиков ремонта. По оценкам экспертов, автоматизация контроля качества сокращает сроки приёмки объектов на 20 % за счёт исключения бумажных согласований.

Экологические решения и управление проектами

Сегодня экономическая эффективность, энергоэффективность и экологичность становятся обязательными элементами капремонта [16]. Данная трансформация

обусловлена глобальным запросом на устойчивое развитие, ужесточением экологических норм и экономической целесообразностью. Внедрение энергосберегающих технологий и экоматериалов не только снижает нагрузку на окружающую среду, но и обеспечивает долгосрочную экономию ресурсов для жителей и управляющих компаний [17]. Современные тенденции в ЖКХ требуют активного внедрения энергоэффективных решений – как ключевого инструмента оптимизации энергозатрат – на этапах капитального ремонта, реконструкции и модернизации жилого фонда [18].

Успешный опыт применения инновационных технологий при капитальном ремонте многоквартирных домов в России демонстрирует значительный потенциал для повышения энергоэффективности и экологической устойчивости. В Белгородской, Воронежской, Калужской, Томской и Ульяновской областях внедрение энергосберегающих решений (модернизация систем отопления, использование теплоизоляционных материалов, установка «умных» счётчиков) позволило повысить класс энергоэффективности зданий на порядок, сократив потребление ресурсов на 30–50 %. Это не только снизило коммунальные платежи жильцов, но и минимизировало углеродный след, что соответствует глобальным трендам устойчивого развития, закреплённым в Федеральном законе от 02.07.2021 № 296 «Об энергосбережении» [16]. Данные результаты подтверждают тезис Долженко О. В., который в своей работе «Инновационные технологии в жилищном строительстве» пишет: «Некоторые из «зелёных» решений, набирающих популярность во всём мире, включают в себя: металлические конструкции – 99 % подлежат вторичной переработке; использование экологического кирпича для строительства зданий; использование органических фотоэлементов вместо солнечных батарей; устройство вертикальных садов; ландшафтный дизайн, оснащение крыш мини-парками, способствующими термостойкости, строительство световых люков, позволяющих оптимально использовать дневной свет; переработка: использование переработанных материалов» [17].

Интеграция экологических стандартов требует обновления нормативной базы. Действующие СНиПы и СП, разработанные десятилетия назад, зачастую не учитывают современных требований к энергоэффективности и углеродной нейтральности. В России этот процесс уже начался: в 2021 году вступил в силу Федеральный закон № 296 «Об энергосбережении», обязывающий включать энергосберегающие решения в программы капремонта, а новые редакции сводов правил, таких как СП 50.13330 (тепловая защита зданий) и СП 131.13330 (строительная климатология), устанавливают жёсткие нормативы по теплопотерям и экологичности материалов. Параллельно разрабатываются «климатические» стандарты, которые должны будут регулировать учёт углеродного следа на всех этапах жизненного цикла зданий – от производства стройматериалов до утилизации отходов.

Управление проектами требует перехода к гибким методологиям. Как отмечает Д. А. Захаров в работе «Современные подходы и тенденции управления проектами в строительной отрасли», «суть гибкого (Agile) подхода заключается в делении различных этапов на «мини-проекты», или итерации, продолжительностью примерно две или три недели, по истечении этого времени сверяются и корректируются полученные данные, проверяются результаты. Если выявлена ошибка или погрешности, то

их исправление происходит на более раннем этапе, требуя возврата лишь к начальному периоду такого «мини-проекта», а не проекта в целом, как это происходит при классическом подходе к управлению проектами, где возвращаться приходится к самому началу. Следовательно, ущерб для проекта в целом при использовании гибкой методологии в этом случае меньше, чем при традиционном подходе» [19].

Сравнительный анализ технологий

Внедрение современных технологий, то есть новых организационно-технологических решений, в капитальный ремонт многоквартирных домов требует понимания их различий, преимуществ и областей применения. Ключевым аспектом является не только выбор отдельных инструментов, но и их синергия, обеспечивающая комплексное решение задач ремонта – от проектирования до эксплуатации. Важно учитывать, что эффективность технологий зависит от масштаба проекта, региональных особенностей (климат, доступность материалов) и уровня цифровизации участников процесса. Успешная модернизация капремонта возможна лишь при детальном анализе технологических возможностей, их адаптации к локальным условиям и создании инфраструктуры для поддержки инноваций. Ниже представлен анализ ключевых инструментов (таблица 1).

Таким образом, модернизации капитального ремонта многоквартирных домов можно достигнуть за счёт интеграции цифровых, роботизированных и энергоэффективных технологий, каждая из которых обладает уникальными преимуществами и областями применения. Сравнительный анализ показал, что BIM-технологии обеспечивают системное управление жизненным циклом объектов за счёт создания цифровых двойников, тогда как IoT фокусируется на оперативном мониторинге данных в реальном времени без сложного моделирования. Роботизация, в отличие от ручного труда, повышает безопасность и сокращает трудозатраты, но требует адаптации нормативной базы. VR/AR-решения эффективны для обучения персонала и контроля качества, тогда как энергоэффективные материалы, такие как PIR-утеплители, дают быстрый экономический и экологический эффект. Agile-методологии, в свою очередь, обеспечивают гибкость управления проектами, минимизируя риски за счёт итеративного подхода. Системный анализ выявил, что наибольшая эффективность достигается при комбинированном использовании технологий: BIM-моделирование оптимизирует планирование, IoT-датчики и дроны обеспечивают точный мониторинг, роботизация снижает человеческие риски, а энергоэффективные материалы сокращают долгосрочные затраты. Однако успешная реализация требует синхронизации нормативных, кадровых и финансовых аспектов, что подтверждает необходимость комплексного подхода к модернизации капитального ремонта.

Для того, чтобы модернизация капитального ремонта была успешной, необходимо:

1. Разработать федеральные стандарты применения BIM и цифровых систем мониторинга. Это позволит унифицировать процессы и снизить риски ошибок. Примером может служить опыт Татарстана, где региональный стандарт BIM внедрён с 2021 года.
2. Внедрить налоговые льготы для подрядчиков, использующих энергоэффективные материалы. На-

Технология	Суть	Отличия
BIM (информационное моделирование зданий)	Создание цифровых 3D-моделей, объединяющих архитектурные, инженерные и эксплуатационные данные для эффективного проектирования, строительства и управления объектами	1. Работа с «цифровыми двойниками» (4D-6D модели). 2. Охват всего жизненного цикла объекта: от проектирования до эксплуатации
IoT (интернет вещей)	Концепция, объединяющая физические устройства, оснащённые датчиками, программным обеспечением и технологиями для подключения к интернету. Эти устройства могут обмениваться данными друг с другом и автоматически выполнять задачи без прямого участия человека	1. Фокус на реальном времени. 2. Не требует сложных моделей – данные передаются напрямую в системы управления
Роботизация	Интеграция автоматизированных систем и роботизированных технологий в производственные, технологические или управленческие процессы для замены ручного труда, оптимизации ресурсов и повышения точности операций. Например, использование роботов для выполнения задач (штукатурка, демонтаж)	1. Замена труда в опасных условиях. 2. Требует изменения нормативной базы
VR/AR (Виртуальная / дополненная реальность)	Технологии, создающие иммерсивные цифровые среды. VR – обучение в виртуальной среде. AR – наложение цифровых данных на физические объекты	1. VR – для тренировок, AR – для работы на объекте. 2. Не требуют присутствия
Энергоэффективные материалы	Специализированные компоненты, снижающие энергопотребление за счёт улучшенной теплоизоляции, использования возобновляемых ресурсов или оптимизации эксплуатационных характеристик, что минимизирует затраты и сокращает экологический след. Например, PIR-утеплители, солнечные панели, системы кондиционирования и т. д.	1. Мгновенный эффект (PIR). 2. Зависимость от климата (солнечные панели)
Agile-методологии	Гибкий подход к управлению проектами, основанный на поэтапной разработке, активном взаимодействии команды и заказчика, а также быстрой адаптации к изменениям для достижения максимальной эффективности и качества продукта	1. Акцент на адаптивность. 2. Подходит для проектов с неопределенностью

Табл. 1. Анализ ключевых инструментов
Tab. 1. Analysis of key tools

- пример, снижение НДС на 5 % для компаний, применяющих VIP-панели или солнечные системы.
3. Создать образовательные программы для управляющих компаний по Agile и цифровым инструментам.
 4. Расширить практику государственно-частного партнёрства, как в московской программе реновации, где частные инвесторы финансируют ремонт в обмен на коммерческие площади.
 5. Стимулировать внедрение искусственного интеллекта и роботизации через гранты для стартапов.

Результаты

Результаты показали, что модернизация капитального ремонта зависит от симбиоза следующих организационно-технологических решений: цифровизация – использование BIM, IoT и дронов для точного планирования и мониторинга, инновационные материалы – внедрение энергоэффективных решений, соответствующих новым экологическим стандартам, управленческие практики – гибкие методологии Agile, обучение кадров и платформы для координации участников процесса. Эти решения не только трансформируют технические процессы, но и меняют культуру взаимодействия между участниками, делая ремонт МКД более прозрачным, безопасным и экономически устойчивым.

Анализ также показал, что для модернизации капитального ремонта также необходимо соблюдать следующие условия: обновление нормативной базы, подготовка кадров и финансовая поддержка. Например, в Татарстане региональные стандарты BIM, внедрённые в 2021 году, унифицировали процессы проектирования. Обучение сотрудников с использованием VR-тренажёров для работы с дронами и робототехникой повышает безопасность и качество работ. Однако сохраняются ограничения: высокая стоимость внедрения роботов (долгий срок окупаемости)

и недостаток квалифицированных специалистов для работы с BIM.

Обсуждение

Результаты исследования демонстрируют значительный потенциал модернизации капитального ремонта многоквартирных домов за счёт внедрения цифровых технологий, инновационных материалов и современных управленческих подходов. Однако их реализация сопряжена с рядом вызовов и ограничений, требующих детального обсуждения.

Внедрение BIM-технологий и цифровых платформ доказало свою эффективность в оптимизации процессов, но их широкое применение сдерживается высокой стоимостью внедрения и недостатком квалифицированных специалистов. Например, в регионах с низким уровнем цифровизации ЖКХ переход на BIM требует значительных инвестиций в обучение персонала и обновление технической базы. Кроме того, отсутствие единых федеральных стандартов затрудняет масштабирование успешных региональных практик, таких как опыт Татарстана.

Несмотря на долгосрочную экономию, использование энергоэффективных материалов и роботизации часто сталкивается с сопротивлением из-за высоких первоначальных затрат. Например, срок окупаемости солнечных панелей в северных регионах может превышать 10 лет, что снижает мотивацию управляющих компаний. Решение этой проблемы видится в разработке механизмов государственной поддержки, таких как субсидии или налоговые льготы, а также в повышении осведомлённости участников процесса о долгосрочных выгодах.

Гибкие методологии и цифровые инструменты управления требуют изменения организационной культуры, что особенно сложно в традиционно консервативной сфере ЖКХ. Кроме того, действующие нормативные акты зачастую не учитывают современных технологических возможностей. Например, использование дронов для ин-

спекции фасадов требует обновления регламентов безопасности и лицензирования.

Внедрение «зелёных» технологий, таких как системы рекуперации тепла, сталкивается с противоречием между экологическими целями и бюджетными ограничениями. В то время как крупные города активно внедряют такие решения, в малых населённых пунктах их распространение затруднено из-за недостатка финансирования и низкой осведомлённости жителей.

Успех модернизации во многом зависит и от вовлечённости жителей, которые часто сопротивляются изменениям из-за недоверия к новым технологиям или опасений роста тарифов. Это подчёркивает необходимость прозрачной коммуникации и демонстрации конкретных выгод, таких как снижение счетов за коммунальные услуги.

Заключение

Модернизация капитального ремонта МКД – это не только техническое обновление, но и трансформация подходов к управлению, финансированию и взаимодей-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вода, И. С. Современные тенденции повышения эффективности работ по капитальному ремонту многоквартирных домов / И. С. Вода // Актуальные вопросы и перспективы развития Российской экономики, политики и права : сборник статей V Всероссийской конференции, Москва, 25 ноября 2024 года. – Москва : АНО «Содействие», 2024. – С. 31–37.
2. Корнилов, П. П. К вопросу об управлении инновациями в жилищном строительстве / П. П. Корнилов // Modern Economy Success. – 2021. – № 2. – С. 202–207.
3. Суворова, С. П. Инновационные технологии капитального ремонта как фактор эффективного функционирования жилищно-коммунального комплекса / С. П. Суворова, А. Ю. Фетисова // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (83). – С. 132–137.
4. Дроздова, И. В. Модель цифрового взаимодействия в сфере ЖКХ / И. В. Дроздова, Н. В. Алиевская // Вестник гражданских инженеров. – 2024. – № 6 (107). – С. 126–135.
5. Ермишина, А. В. Цифровизация в системе организации капитального ремонта многоквартирных домов в России / А. В. Ермишина // Journal of Economic Regulation. – 2022. – Т. 13, № 4. – С. 108–115.
6. Камалов, Р. Р. Разработка мероприятий по снижению потерь тепла в многоквартирном жилом доме / Р. Р. Камалов // Техника и технология современных производств : сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 13–14 мая 2024 года. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 175–178.
7. BIM-технологии, используемые в ходе строительства / Д. В. Коробочкин, Л. В. Ремпель, В. А. Раджабова, А. Е. Степанова, Н. Р. Шатов // Качество. Технологии. Инновации : материалы VI Международной научно-практической конференции, 15–17 февраля 2023 года. – Новосибирск : Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2023. – С. 329–335.
8. Моттаева, А. Б. Применение инновационных технологий при проведении капитального ремонта МКД / А. Б. Моттаева, Е. Г. Ли // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 1 (126). – С. 1169–1172.
9. Карякин, Ю. Е. Концепция BIM-технологий: прикладное значение при капитальном ремонте жилых зданий / Ю. Е. Карякин, В. А. Головкин // Математическое и информационное моделирование : сборник научных трудов, электронный ресурс, Тюмень, 18 апреля 2019 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Тюменский государственный университет, Институт математики и компьютерных наук. – 2019. – Вып. 17. – Тюмень : Тюменский государственный университет, 2019. – С. 168–184.

ствию с жильцами. Модернизация капитального ремонта МКД в России возможна через интеграцию цифровых технологий, инновационных материалов и эффективного управления. Опыт регионов, подкреплённый исследованиями отечественных учёных, демонстрирует, что такие решения не только повышают качество работ, но и обеспечивают долгосрочную экономию. Например, в Свердловской области комплексный подход к ремонту с применением BIM и энергоэффективных материалов сократил затраты на 22 % за 5 лет. Однако успех зависит от системных изменений: обновления нормативной базы, подготовки кадров и финансовой поддержки. Модернизация ЖКХ – это не только технологии, но и трансформация мышления всех участников процесса. Реализация предложенных мер требует координации усилий государства, бизнеса и общества, что позволит создать устойчивую модель развития жилищного фонда, соответствующую вызовам XXI века.

10. Автоматизация жизненного цикла зданий при реконструкции и капитальном ремонте / В. И. Римшин, И. Л. Шубин, В. Т. Ерофеев, А. А. Аветисян // Жилищное строительство. – 2022. – № 7. – С. 6–12.
11. Москвичев, М. А. Цифровая трансформация строительных организаций / М. А. Москвичев // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 3-1. – С. 294–304.
12. Князева, Н. В. Современные подходы к оценке технического состояния строительных конструкций зданий на этапе эксплуатации / Н. В. Князева, Е. А. Назойкин, А. А. Орехов // Строительство: наука и образование. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 131–142.
13. Векшин, И. А. Применение инновационных технологий и материалов при проведении текущего и капитального ремонтов многоквартирных домов / И. А. Векшин, О. А. Куракова // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 9 (170). – С. 1297–1302.
14. Мирошников, Д. А. Роль BIM-технологий, виртуальной, дополненной и смешанной реальности при реконструкции объектов капитального строительства / Д. А. Мирошников // VIII Международный студенческий строительный форум – 2023 : Сборник докладов VIII Международного студенческого строительного форума – 2023, Белгород, 28 ноября 2023 года. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 134–141.
15. Сарычев, Д. С. Применение VR и AR-технологий в строительстве / Д. С. Сарычев // Перспективы развития и применения современных технологий : сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 22 апреля 2021 года. – Петрозаводск : Международный центр научного партнёрства «Новая Наука» (ИП Ивановская И. И.), 2021. – С. 223–227.
16. Киященко, Л. Т. Возможности применения инноваций в ЖКХ при проведении капитального ремонта / Л. Т. Киященко, Г. А. Хроменкова, А. В. Науменков // Фундаментальные исследования. – 2023. – № 1. – С. 31–37.
17. Долженко, О. В. Инновационные технологии в жилищном строительстве / О. В. Долженко // Университетская наука. – 2022. – № 2 (14). – С. 47–50.
18. Малова, Н. Ю. Повышение эффективности капитального ремонта жилищного фонда за счёт использования энергосберегающих технологий / Н. Ю. Малова, В. А. Лыкова, Я. Д. Ткаченко // Экономика строительства и городского хозяйства. – 2020. – Т. 16, № 2. – С. 89–96.
19. Захаров, Д. А. Современные подходы и тенденции управления проектами в строительной отрасли / Д. А. Захаров // Прогрессивная экономика. – 2024. – № 12. – С. 248–256.

REFERENCES

1. Voda, I. S. Sovremennye tendentsii povysheniya ehffektivnosti rabot po kapitalnomu remontu mnogokvartirnykh domov [Modern trends in improving the efficiency of work on capital repairs of apartment buildings] / I. S. Voda // Aktualnye voprosy i perspektivy razvitiya Rossiyskoj ehkonomiki, politiki i prava : sbornik statej V Vserossiyskoj konferentsii, Moskva, 25 noyabrya 2024 goda [Current issues and prospects for the development of the Russian economy, politics and law : collection of articles of the V All-Russian Conference, Moscow, November 25, 2024]. – Moscow : ANO "Sodejstvie", 2024. – Pp. 31–37.

2. Kornilov, P. P. K voprosu ob upravlenii innovatsiyami v zhilishh-nom stroitel'stve [On the issue of innovation management in housing construction] / P. P. Kornilov // Modern Economy Success. – 2021. – No. 2. – Pp. 202–207.

3. Suvorova, S. P. Innovatsionnye tekhnologii kapitalnogo remonta kak faktor ehffektivnogo funktsionirovaniya zhilishh-no-kommunalnogo kompleksa [Innovative technologies of capital repairs as a factor of effective functioning of the housing and communal complex] / S. P. Suvorova, A. Yu. Fetisova // Vestnik agrarnoy nauki [ulletin of Agrarian Science]. – 2020. – No. 2 (83). – Pp. 132–137.

4. Drozdova, I. V. Model' tsifrovogo vzaimodejstviya v sfere ZhKKh [Model of digital interaction in the housing and communal services sector] / I. V. Drozdova, N. V. Alievskaya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2024. – No. 6 (107). – Pp. 126–135.

5. Ermishina, A. V. Tsifrovizatsiya v sisteme organizatsii kapital'nogo remonta mnogokvartirnykh domov v Rossii [Digitalization in the system of organization of capital repairs of apartment buildings in Russia] / A. V. Ermishina // Journal of Economic Regulation [Journal of Economic Regulation]. – 2022. – Vol. 13, No. 4. – Pp. 108–115.

6. Kamalov, R. R. Razrabotka meropriyatij po snizheniyu poter' tepla v mnogokvartirnom zhilom dome [Development of measures to reduce heat loss in an apartment building] / R. R. Kamalov // Tekhnika i tekhnologiya sovremennykh proizvodstv : Sbornik statej V Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 13–14 maya 2024 goda [Machinery and technology of modern production : collection of articles of the V All-Russian Scientific and Practical Conference, Penza, May 13-14, 2024]. – Penza : Penzenskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet [Penza State Agrarian University], 2024. – Pp. 175–178.

7. BIM-tekhnologii, ispol'zuemye v khode stroitel'stva [BIM technologies used during construction] / D. V. Korobochkin, L. V. Rempel, V. A. Radzhabova, A. E. Stepanova, N. R. Shatov // Kachestvo. Tekhnologii. Innovatsii : materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, 15-17 fevralya 2023 goda [Quality. Technologies. Innovations : proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, February 15-17, 2023]. – Novosibirsk : Izd-vo NGACU (Sibstrin), 2023. – Pp. 329–335.

8. Mottaeva, A. B. Primenenie innovatsionnykh tekhnologij pri provedenii kapital'nogo remonta MKD [The use of innovative technologies in the overhaul of the MCD] / A. B. Mottaeva, E. G. Li // Ehkonomika i predprinimatel'stvo [Economics and Entrepreneurship]. – 2021. – No. 1 (126). – Pp. 1169–1172.

9. Karyakin, Yu. E. Kontseptsiya BIM-tekhnologij: prikladnoe znachenie pri kapital'nom remonte zhilykh zdaniy [The concept of BIM technologies: applied value in the overhaul of residential buildings] / Yu. E. Karyakin, V. A. Golovkin // Matematicheskoe i informatsionnoe modelirovanie : sbornik nauchnykh trudov, ehlektronnyj resurs, Tyumen, 18 aprelya 2019 goda [Mathematical and information modeling : collection of scientific papers, electronic resource, Tyumen, April 18, 2019] / Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoj

Federatsii; Tyumenskij gosudarstvennyj universitet, Institut matematiki i kompyuternykh nauk [Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation; Tyumen State University, Institute Mathematics and Computer Science]. – Tyumen : Tyumenskij gosudarstvennyj universitet [Tyumen State University], 2019. – Vol. 17. – Pp. 168–184.

10. Avtomatizatsiya zhiznennogo tsikla zdaniy pri rekonstruktsii i kapital'nom remonte [Automation of the life cycle of buildings during reconstruction and major repairs] / V. I. Rimshin, I. L. Shubin, V. T. Erofeev, A. A. Avetisyan // Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2022. – No. 7. – Pp. 6–12.

11. Moskvichev, M. A. Tsifrovaya transformatsiya stroitel'nykh organizatsij / M. A. Moskvichev [Digital transformation of construction organizations] // Ehkonomika: vchera, segodnya, zavtra [Economics: yesterday, today, tomorrow]. – 2023. – Vol. 13, No. 3-1. – Pp. 294–304.

12. Knyazeva, N. V. Sovremennye podkhody k otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksij zdaniy na ehtape ehkspluatatsii [Modern approaches to assessing the technical condition of building structures at the operational stage] / N. V. Knyazeva, E. A. Nazoykin, A. A. Orekhov // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2024. – Vol. 14, No. 3. – Pp. 131–142.

13. Vekshin, I. A. Primenenie innovatsionnykh tekhnologij i materialov pri provedenii tekushhego i kapitalnogo remontov mnogokvartirnykh domov [Application of innovative technologies and materials in carrying out current and capital repairs of apartment buildings] / I. A. Vekshin, O. A. Kurakova // Ehkonomika i predprinimatel'stvo [Economics and entrepreneurship]. – 2024. – No. 9 (170). – Pp. 1297–1302.

14. Miroshnikov, D. A. Rol' BIM-tekhnologij, virtualnoj, dopolnennoj i smeshannoj realnosti pri rekonstruktsii ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva [The role of BIM technologies, virtual, augmented and mixed reality in the reconstruction of capital construction facilities] / D. A. Miroshnikov // VIII Mezhdunarodnyj studencheskij stroitel'nyj forum – 2023 : Sbornik dokladov VIII Mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma – 2023, Belgorod, 28 noyabrya 2023 goda [VIII International Student Construction Forum – 2023 : Collection of reports of the VIII International Student Construction Forum – 2023, Belgorod, November 28, 2023]. – Belgorod : Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V. G. Shukhova [Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov], 2023. – Pp. 134–141.

15. Sarychev, D. S. Primenenie VR i AR-tekhnologij v stroitel'stve [Application of VR and AR technologies in construction] / D. S. Sarychev // Perspektivy razvitiya i primeneniya sovremennykh tekhnologij : sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Petrozavodsk, 22 aprelya 2021 goda [Prospects for the development and application of modern technologies : collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, April 22, 2021]. – Petrozavodsk : Mezhdunarodnyj tsentr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka» (IP Ivanovskaya Irina Igorevna) [International Center for Scientific Partnership "New Science" (IP Ivanovskaya I. I.)], 2021. – Pp. 223–227.

16. Kiyashchenko, L. T. Vozmozhnosti primeneniya innovatsij v ZhKKh pri provedenii kapital'nogo remonta [Possibilities of applying innovations in housing and communal services during major repairs] / L. T. Kiyashchenko, G. A. Khromenkova, A. V. Naumenkov // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]. – 2023. – No. 1. – Pp. 31–37.

17. Dolzhenko, O. V. Innovatsionnye tekhnologii v zhilishchnom stroitel'stve [Innovative technologies in housing construction] / O. V. Dolzhenko // Universitetskaya nauka [University science]. – 2022. – No. 2 (14). – Pp. 47–50.

18. Malova, N. Yu. Povyshenie ehffektivnosti kapital'nogo remonta zhilishchnogo fonda za schet ispol'zovaniya ehnergosbere-

gayushhikh tekhnologij [Improving the efficiency of capital repairs of housing stock through the use of energy-saving technologies] / N. Yu. Malova, V. A. Lykova, Ya. D. Tkachenko // Ehkonomika stroitel'stva i gorodskogo khozyajstva [Economics of construction and urban economy]. – 2020. – Vol. 16, No. 2. – Pp. 89–96.

УДК 69.009.1

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_57

Проведение экспертизы проектной документации на основе анализа цифровой информационной модели

The Process of Design Documentation Examination Based on the Analysis of a Building Information Model

Фомин Никита Игоревич

Кандидат технических наук, доцент, директор Института строительства и архитектуры, заведующий кафедрой «Промышленное, гражданское строительство и экспертиза недвижимости», ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (ИСА УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Мира, 17, ni.fomin@urfu.ru

Fomin Nikita Igorevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Construction and Architecture, Head of the Department of Industrial, Civil Engineering and Real Estate Expertise, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU ISA), Russia, 620002, Yekaterinburg, ulitsa Mira, 17, ni.fomin@urfu.ru

Серёгина Наталья Юрьевна

Начальник ГАУ Свердловской области «Управление государственной экспертизы», Россия, 620004, Екатеринбург, улица Малышева, 101, n.seregina@egov66.ru

Seregina Natalia Yurievna

Head of the State Autonomous Institution of the Sverdlovsk region "Department of State Expertise", Russia, 620004, Yekaterinburg, ulitsa Malysheva, 101, n.seregina@egov66.ru

Сербин Сергей Андреевич

Кандидат технических наук, главный специалист ГАУ Свердловской области «Управление государственной экспертизы», Россия, 620004, Екатеринбург, улица Малышева, 101, s.serbin@egov66.ru

Serbin Sergey Andreevich

Candidate of Engineering Sciences, Chief Specialist of the State Autonomous Institution of the Sverdlovsk region "Department of State Expertise", Russia, 620004, Yekaterinburg, ulitsa Malysheva, 101, s.serbin@egov66.ru

Аннотация. В соответствии с текущим законодательством, при наличии цифровой информационной модели в составе информационной модели проектной документации возникает необходимость осуществления трёх процессов в ходе экспертизы проектной документации: экспертизы двумерного представления графической части, экспертизы цифровой информационной модели, процедуры сопоставления двумерного представления графической части и цифровой информационной модели. При этом процесс экспертизы включает проверку проектных решений на соответствие требований: действующих норм (технических регламентов) и технического задания на проектирование.

Авторами статьи была сформулирована цель исследования: оценить возможность проведения экспертизы проектной документации (раздела «Объёмно-планировочные и архитектурные решения») только с использованием цифровой информационной модели, без анализа двумерных чертежей. Для достижения цели, в первую очередь, были описаны требования к атрибутивному и геометрическому наполнению такой модели, необходимого и достаточного для проверки выполнения требований нормативных документов (технических регламентов). В ходе анализа функциональных возможностей программных комплексов был сформирован перечень инструментов, приме-

Abstract. In accordance to the current legislation, in the presence of a building information model as part of the information model of design documentation, it is necessary to implement three processes during the examination of design documentation: examination of a two-dimensional representation of the graphic

19. Zakharov, D. A. Sovremennye podkhody i tendentsii upravleniya proektami v stroitel'noj otrasli [Modern approaches and trends in project management in the construction industry] / D. A. Zakharov // Progressivnaya ehkonomika [Progressive Economics]. – 2024. – No. 12. – Pp. 248–256.

няемых специалистом экспертной организации при проведении экспертизы информационной модели.

Дальнейшая реализация пилотного проекта проводилась на реальном объекте капитального строительства – 15-этажном 6-секционном жилом доме в микрорайоне Солнечном г. Екатеринбурга. В процессе реализации была проведена экспертиза проектной документации раздела «Объёмно-планировочные и архитектурные решения» жилого дома отдельно по двум траекториям – по цифровой информационной модели и по двумерным чертежам – разными экспертами равной квалификации, после чего результаты экспертизы сопоставлялись на каждом её этапе и выполнялся сравнительный анализ трудоёмкости выполнения каждого этапа. С учётом описанных заранее критериев эффективности реализации проекта было установлено, что проведение экспертизы раздела «Объёмно-планировочные и архитектурные решения» жилого здания возможно только с применением цифровой информационной модели и без использования чертежей, при этом трудоёмкость одного рассмотрения по цифровой информационной модели и по чертежам отличается на 4 часа.

Ключевые слова: информационная модель; цифровая информационная модель; экспертиза; инструменты программно-го комплекса; атрибуты; IFC.

part, examination of a building information model, and the comparing a two-dimensional representation of the graphic part and a building information model. In this case, the examination process includes checking design solutions for compliance with the requirements of current standards (technical regulations) and

technical specifications for the design.

The authors of the article formulated the purpose of the study: to assess the possibility of conducting an examination of design documentation (using the Architecture section as an example) only using a building information model, without analyzing two-dimensional drawings. To achieve this goal, first of all, necessary and sufficient to verify compliance with the requirements of regulatory documents (technical regulations) requirements for the attributive and geometric content of such model were described. During the analysis of the functionality of software packages, a list of tools used by a expert during the examination of an information model was formed.

Further implementation of the pilot project was carried out on a real capital construction project – a 15-story 6-section residential building in the Solnechny microdistrict of Yekaterinburg. During the implementation, an examination of the design docu-

mentation of the Architecture section of the residential building was carried out separately along two trajectories – according to the building information model and according to two-dimensional drawings – by different experts of equal qualification, after which the results of the examination were compared at each stage and a comparative analysis of the labor intensity of each stage was performed. Taking into account the previously described criteria for the effectiveness of the project implementation, it was found that the examination of the Architecture section of the residential building is possible with the use of a building information model and without the use of drawings, while the labor intensity of one review according to the building information model and according to drawings differs by 4 hours.

Keywords: information model; building information model; expertise; software suite tools; attributes; IFC.

Таким образом, существует потребность [6] в разработке поэтапного процесса получения и обработки атрибутивной и геометрической информации элементов ЦИМ специалистом экспертного учреждения, при этом факт наличия в составе ИМ двумерных чертежей не влияет на существование и состав этого процесса.

Следует отметить ещё одно обстоятельство, в связи с которым необходимо осуществлять процедуру анализа ЦИМ. В учреждениях, осуществляющих экспертизу проектной организации, например, в ГАУ СО «Управление государственной экспертизы» (Свердловская область), у заказчиков, реализующих проекты за счёт частного финансирования, весьма распространённой является услуга по экспертному сопровождению разработки проектной документации. Так, в процессе проектирования исполнитель имеет возможность «производственного диалога» со специалистами экспертного учреждения в формате консультаций, на которых эксперту возможно показать текущие наработки. При этом на каждой такой консультации у проектировщика должна быть последняя версия проектной документации. При реализации проектной организацией технологий информационного моделирования процесс проектирования осуществляется путём насыщения ЦИМ геометрической и атрибутивной информацией, следовательно, для возможности получения консультации исполнителю необходимо выполнять настройку оформления чертежей строительного объекта в двумерном виде, что повышает трудоёмкость процесса взаимодействия проектировщика и эксперта.

Резюмируя вышеизложенное, авторы статьи сформулировали следующую гипотезу исследования: возможно ли проведение экспертизы проектной документации (раздела «Объёмно-планировочные и архитектурные решения») только по ЦИМ, без использования двумерных чертежей, и будет ли получен удовлетворительный результат такой экспертизы (равноценный результату проведения «классической» экспертизы проектной документации по двумерным чертежам, выполненным в соответствии с [3; 7], без использования информации из ЦИМ)?

В соответствии с гипотезой была сформулирована цель исследования – оценить возможность проведения экспертизы проектной документации («Объёмно-планировочные и архитектурные решения») только с использованием ЦИМ, без анализа двумерных чертежей [8; 9].

Для реализации поставленной цели был сформирован ряд задач:

1. Разработать требования к составу ЦИМ, выполнение которых обеспечит наличие в ЦИМ информации, необходимой и достаточной для проверки выполнения требований нормативных документов (технических регламентов).
2. Описать программные требования, которые необходимо применять эксперту для проверки выполнения требований технических регламентов в проектных решениях, содержащихся в ЦИМ; на основании выявленных требований определить программный комплекс, в котором возможно осуществлять экспертизу ЦИМ.
3. Описать критерии эффективности реализации пилотного проекта, удовлетворение которых позволит принять решение о возможности исключения двумерных чертежей из процедуры проведения анализа проектной документации по ЦИМ специалистом экспертного учреждения.
4. Провести одновременную экспертизу проектной документации одного объекта капитального строительства разными экспертами равной квалификации по двум траекториям: по одной – на основе анализа графической части в виде двумерных чертежей, по другой – только с применением ЦИМ. Сопоставить результаты экспертизы проектной документации на каждом её этапе, выполнить сравнительный анализ трудоёмкости выполнения этапов экспертизы.
5. Принять решение о целесообразности и эффективности проведения экспертизы проектной документации по ЦИМ, без анализа двумерных чертежей, на основании результатов исследования. При поло-

жительном исходе определить основные этапы процесса экспертизы по ЦИМ.

Материалы и методы

До настоящего времени не предложено аналога требованиям [3], адаптированного для ЦИМ, а также не выработано унифицированных требований к составу и содержанию ЦИМ, представляемых на экспертизу проектной документации. Наиболее подходящим методом формирования таких требований является перенос информации из двумерного отображения (чертежа или схемы) в информацию, содержащуюся в ЦИМ в виде описания геометрии и атрибутивного состава элементов ЦИМ [10; 11]. Например, аналогичным методом были сформированы требования ГАУ СО «Управление государственной экспертизы» к разделу проектной документации «Объёмно-планировочные и архитектурные решения» [12].

В процессе декомпозиции процедуры проведения экспертизы ЦИМ на рабочие задачи, реализуемые специалистами ГАУ СО «Управление государственной экспертизы», был представлен перечень программных инструментов, наличие и использование которых позволит применить его для экспертизы ЦИМ в формате IFC [13; 14]. На момент запуска пилотного проекта (февраль 2024 г.) такого программного комплекса обнаружить не удалось. Поэтому было принято решение доработать один из имеющихся на рынке программных продуктов. В результате всестороннего анализа отечественных программных комплексов, доступных на рынке, был отобран ПК Tangl Control разработчика ООО «Тангл» [15]. После этого был сформирован перечень дополнительных инструментов в программе, которые необходимо было раз-

№ группы	Наименование инструмента	Описание возможностей
1 группа	Соотнесение сетки осей и трёхмерной модели	Пользователь сможет увидеть координационные оси на 3D-виде, в т. ч. на ортогональных видах (планы, разрезы), следовательно, определять положение конструкций относительно осей
	Работа с планами и разрезами	Пользователь сможет сохранить вид 3D-модели с учётом её подрезки и скрытых элементов, возвращаться к ранее сохранённым видам, например, для просмотра планов каждого этажа, ключевых разрезов и фасадов здания
	Атрибуты в справочнике отбора	Пользователь сможет просматривать значения определённых им атрибутов для элементов, объединённых в единый набор
	Работа с наложением нескольких элементов при выборе	Доработка направлена на удобство взаимодействия с элементами на 3D-виде. Пользователь сможет выбирать, какой элемент модели из тех, что одновременно находятся под курсором, необходимо выделить в данный момент
	Работа с витражами и их заполнением	Пользователь сможет взаимодействовать как с составными элементами, так и с элементами, входящими в структуру составных. Например, выделить как витраж целиком, так и отдельные его импосты, и панели остекления
2 группа	Возможность проставления марок элементов	Пользователь сможет просматривать ключевую информацию элементов модели (марки, площади, высотные отметки и пр.), нанесённую на данные элементы в 3D-виде
	Возможность объединения элементов в типоразмеры	Пользователь сможет настроить группировку списка элемента модели в различных вариантах, например, создать группы элементов по типоразмерам, по этажам, размерам и т. д.
	Использование фильтров на виде параллельно с функциями «скрыть» и «показать»	Пользователь сможет управлять видимостью отдельных групп элементов, например, скрыть/показать только окна, только элементы 5 этажа, только кирпичные стены и т. п.
	Возможность сравнивать две версии модели	Пользователь сможет увидеть все изменения, которые были произведены в обновлённой версии модели (добавление, удаление, перемещение конструкций, изменение их свойств)
3 группа	Предусмотрена возможность настройки горячих кнопок	Пользователь сможет активировать инструменты вьювера (скрытие, подрезка, рулетка и др.) с помощью нажатия клавиатурных сочетаний

Табл. 1. Перечень необходимых дополнительных инструментов ПК Tangl Control для обеспечения возможности проведения экспертизы ЦИМ

Tab. 1. List of Tangl Control necessary additional tools to ensure the possibility of conducting an examination of the building information model



Рис. 1. Проведение экспертизы проектных решений в рамках пилотного проекта
Fig. 1. Conducting an examination of design solutions within the framework of a pilot project

работать компании-вендору для обеспечения необходимых требований по экспертизе ЦИМ [16–18].

Разработанный перечень необходимых дополнительных инструментов ПК Tangl Control, позволяющий выполнить с его применением экспертизу ЦИМ, представлен в таблице 1. К первой группе относятся доработки, без которых экспертиза ЦИМ невозможна, ко второй относятся доработки, влияющие на трудозатраты специалистов, доработка из третьей группы расширяет функционал ПК Tangl Control, но не влияет на продолжительность экспертизы.

В ходе оценки рисков, сопутствующих пилотному проекту, наиболее существенным для заказчика был риск, связанный с возможным увеличением сроков проведения экспертизы. Поэтому в результате исследования было

важным не допустить увеличения продолжительности экспертизы проектной документации и, как следствие, переноса плановой даты выдачи разрешения на строительство и его начала.

В качестве объекта капитального строительства был выбран 15-этажный 6-секционный жилой дом в микрорайоне Солнечном г. Екатеринбурга.

С учётом обозначенного риска были сформированы следующие критерии эффективности реализации пилотного проекта:

1. Выбранный комплекс (ПК Tangl Control) обладает достаточным функционалом для проверки выполнения требований технических регламентов;
2. Достоверность результатов экспертизы по ЦИМ подтверждена результатами экспертизы по двумерной документации на каждом этапе прохождения экспертизы проектной документации.

В процессе пилотного проекта была проведена экспертиза проектной документации раздела «Объёмно-планировочные и архитектурные решения» жилого дома отдельно по двум траекториям: по ЦИМ и по двумерным чертежам. Схема проведения пилотного проекта представлена на рисунке 1. Замечания по каждой траектории прохождения экспертизы раздела проектной документации «Объёмно-планировочные и архитектурные решения», сформированные разными экспертами равной квалификации, фиксировались и затем сравнивались друг с другом. После завершения процесса экспертизы был проведён анализ соответствия ЦИМ и двумерных чертежей для подтверждения идентичности рассматриваемых по разным траекториям проектных решений.

Этапы рассмотрения ЦИМ экспертом раздела «Объёмно-планировочные и архитектурные решения» [10] в процессе проведения экспертизы представлены в таблице 2.

Результаты

В процессе реализации пилотного проекта выделено два укрупнённых этапа: экспертное сопровождение и экспертиза проектной документации. В процессе сопровождения было произведено три итерации по мере детализации проектных решений. Основные технико-экономические показатели объекта: площадь участка – 9570 кв. м, жилая площадь – 9949,8 кв. м, строительный объём – 152500,9 куб. м, количество квартир – 756, количество этажей – 16.

Наименование этапа экспертизы	Содержание этапа экспертизы
Оценка наполненности ЦИМ информацией	Экспертом анализируется результат предварительно проведённой валидации, в ходе изучения которого он получает информацию о наличии необходимых элементов и их атрибутивной проработке
Сравнение версии ЦИМ с предыдущей (при необходимости)	Эксперт анализирует отчёт, где представлено несколько групп элементов: у которых изменился какой-то параметр, которые были добавлены, которые были удалены, которые были перенесены
Визуальная оценка ЦИМ	Эксперт взаимодействует с трёхмерным видом, подрезает ЦИМ, оценивает её на наличие «лишних» элементов, функциональная значимость которых не подтверждается визуально
Анализ атрибутивной информации ЦИМ с помощью сводных таблиц	Эксперт работает с таблицами по различным группам элементов (например, стены), в которых представлены значения выбранных заранее значимых атрибутов, выгружает таблицу в Excel, проводит численные манипуляции
Работа с отдельными элементами ЦИМ с помощью дерева модели	Эксперт сортирует элементы модели по настроенному заранее параметру или параметрам, применяет цветовое выделение групп элементов для удобства идентификации
Проведение автоматизированных вспомогательных проверок	Эксперт работает с отчётами по настроенным заранее автоматизированным проверкам. Например, проверка наличия сантехнических приборов в санузлах
Сравнение полученных результатов с результатами проведённой валидации ЦИМ	Эксперт визуально подтверждает результаты валидации на основании собственного исследования ЦИМ, при необходимости корректирует окончательный отчёт

Табл. 2. Этапы проведения экспертизы по ЦИМ
Tab. 2. Stages of conducting an examination using the building information model

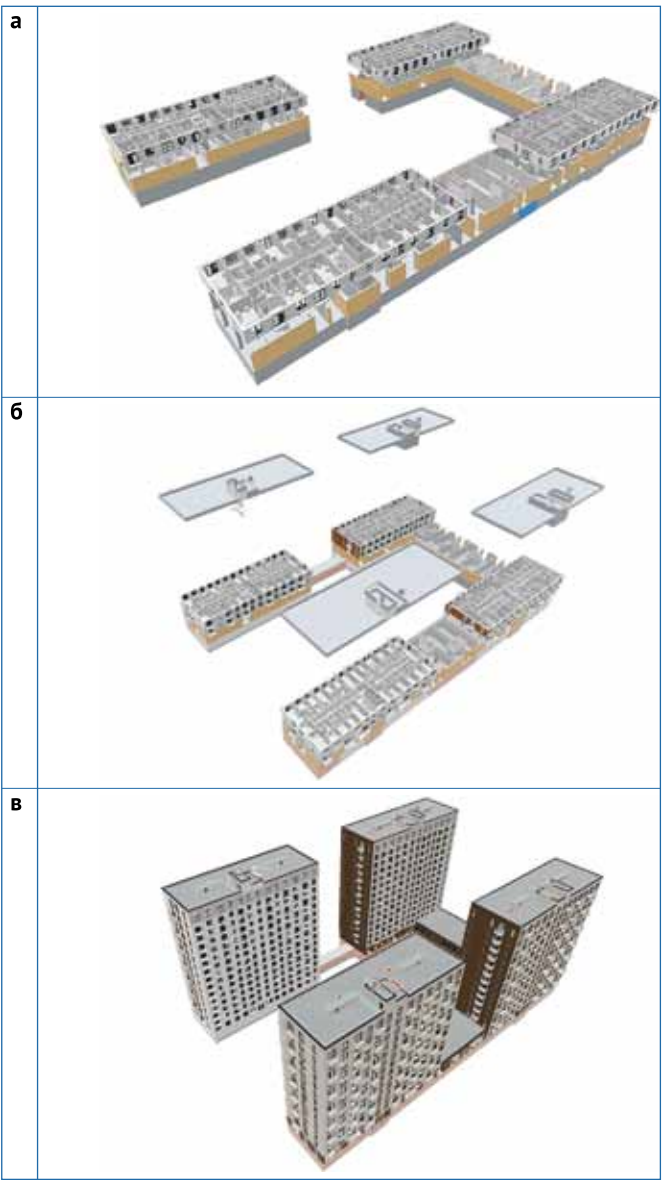


Рис. 2. ЦИМ жилого дома по каждой итерации в процессе экспертного сопровождения процесса проектирования:
а) 1-я итерация; б) 2-я итерация; в) 3-я итерация
Fig. 2. Building information model of a residential construction for each iteration in the process of expert support of the design process: а) 1st iteration; б) 2nd iteration; в) 3rd iteration)

В двумерной форме был представлен следующий объём информации: 1-я итерация – для консультации были представлены план подвала и план первого этажа; 2-я итерация – для консультации был также представ-

лен план типового этажа, 3-я итерация – для консультации был представлен раздел проектной документации «Объёмно-планировочные и архитектурные решения» без разреза.

ЦИМ жилого дома по каждой итерации в процессе экспертного сопровождения процесса проектирования представлены на рисунке 2.

На каждом этапе было зафиксировано преимущество представления ЦИМ:

- при первой итерации эксперт, работающий с ЦИМ, зафиксировал перепады высот в подвале в отличие от своего коллеги, работающего с двумерной документацией, у которого не было отметок в плане подвала;
- при второй итерации эксперт, работающий с ЦИМ, мог проверить выходы на кровлю и высоту парапета, в то время как его коллега, работающий с двумерной документацией, не получил план кровли;
- при третьей итерации эксперт, работающий с ЦИМ, мог сформировать разрез в удобном месте, в то время как для его коллеги проектировщики не успели оформить разрез.

Для оценки трудоёмкости укрупнённых этапов реализации пилотного проекта были оценены трудозатраты экспертов ГАУ СО «Управление государственной экспертизы», представленные в таблице 3. Общая продолжительность экспертизы по двумерным чертежам составила 15 человеко-часов, этапа консультации – 45 человеко-часов, экспертизы с использованием ЦИМ – 28 человеко-часов, при этом этап консультаций составил 59 человеко-часов. В рамках пилотного проекта были рассмотрены трудозатраты процесса экспертизы проектных решений по [11], без учёта процесса контроля качества ЦИМ ОКС.

Важно отметить, что эксперты и специалисты проектной организации участвовали в процессе экспертизы ЦИМ впервые, что, в свою очередь, не могло не повлиять на срок подготовки замечаний по проектным решениям и количество итераций в процессе экспертного сопровождения. Общие трудозатраты экспертизы по двум траекториям составили: по двумерным чертежам – 60 рабочих часов, по ЦИМ – 87 рабочих часов.

При необходимости дополнения проектной документации по ПП РФ № 87 [3] цифровой информационной моделью экспертизу необходимо будет производить в три этапа:

Укрупнённый этап реализации пилотного проекта		Траектории экспертизы		Анализ соответствия ЦИМ и двумерных чертежей	Суммарная трудоёмкость при наличии двумерной документации и ЦИМ в составе ИМ
		Проверка ЦИМ	Проверка чертежей в 2D		
		человеко-часы эксперта			
Этап 1. Экспертное сопровождение	1-я итерация	15	12	7	34
	2-я итерация	12	8	5	25
	3-я итерация	32	25	14	71
Этап 2. Экспертиза проектной документации		19	15	10	44
Общая продолжительность		87	60	36	183

Табл. 3. Оценка трудоёмкости укрупнённых этапов пилотного проекта (экспертного сопровождения и экспертизы проектной документации) по траекториям
Tab. 3. Assessment of the labor intensity of the enlarged stages of the pilot project (expert support and examination of design documentation) by trajectories

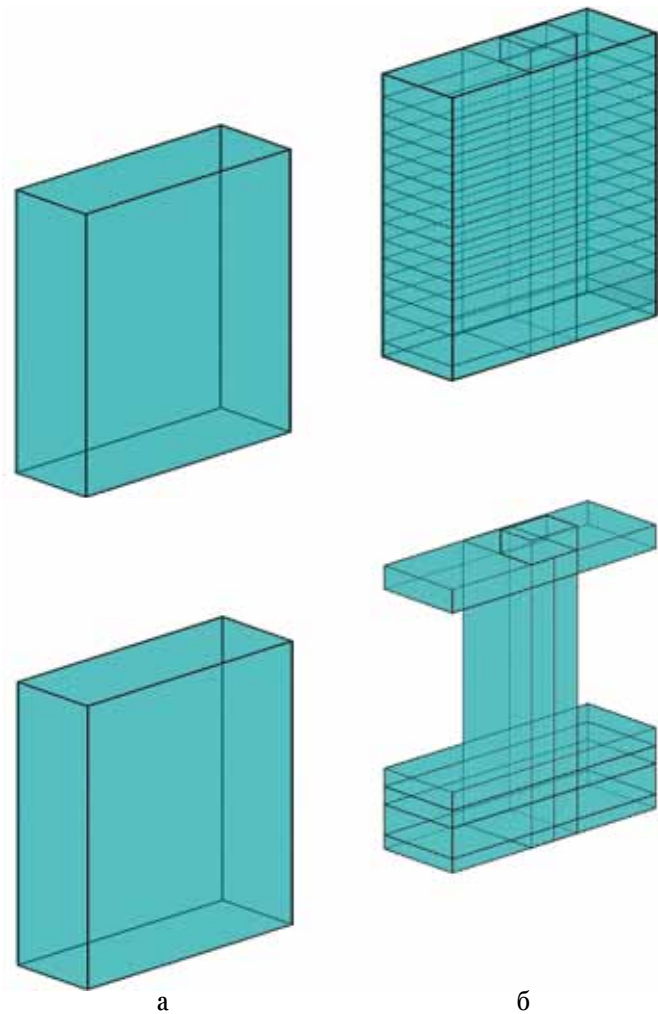


Рис. 3. Возможные проекции/виды, рассматриваемые экспертом: а) при экспертизе ЦИМ; б) при экспертизе двумерных чертежей

Fig. 3. Possible projections/views considered by experts: a) during building information model examination; b) during two-dimensional drawing examination

- проверка ЦИМ на выполнение требований технических регламентов;
- проверка чертежей на выполнение требований технических регламентов;
- оценка соответствия двумерных чертежей и ЦИМ.

В рамках эксперимента (пилотного проекта) установлено, что продолжительность проверки ЦИМ объекта превышает продолжительность экспертизы двумерных чертежей на 4 часа. Вместе с этим, основываясь на равной квалификации экспертов, участвующих в пилотном проекте, совместная экспертиза одним экспертом двумерных чертежей и ЦИМ составляет 53 часа, в отличие от 19 часов экспертизы по траектории ЦИМ и 15 часов – по двумерным чертежам.

Величина удельных трудозатрат, К	Трудозатраты, мин.				
	После внедрения инструментов 1 группы	После внедрения инструментов 2 группы			
		Объединение элементов; Фильтры	Сравнение двух версий модели	Марки элементов	Полный комплект инструментов
	140,45	121,85	118,98	126,15	99,00
К	1,0	0,87	0,85	0,90	0,70

Табл. 4. Трудозатраты при использовании программы Tangl Control до и после внедрения инструментов
Tab. 4. Labor costs when using the Tangl Control before and after the implementation of tools

Отдельное внимание следует уделить процессу сопоставления двумерных чертежей и ЦИМ, поскольку информация при различных вариациях графической части проектной документация предоставляется в разном объёме (см. рисунок 3). При наличии в проектных решениях типовых этажей в комплекте чертежей будет представлен один план типового этажа, а значит, эксперту при анализе необходимо проверить только один вид, однако в ЦИМ необходимо подтвердить, что планы этажей являются типовыми, ведь у эксперта есть возможность создать неограниченное количество сечений ЦИМ на различных отметках (планов), а значит, он должен провести неограниченное количество проверок для подтверждения наличия типовых этажей.

Как отмечалось выше, в рамках пилотного проекта была выполнена доработка ПК Tangl Control, поэтому для оценки результативности разработанных дополнительных инструментов была выполнена оценка трудозатрат эксперта при использовании выбранного программного комплекса после доработок 1 группы и с учётом применения каждого отдельного инструмента 2 группы. Результаты представлены в таблице 4.

Из таблицы видно, что без доработки программного комплекса трудозатраты эксперта при проведении анализа ЦИМ были бы больше на 30 %, при этом часть необходимой информации для эксперта была бы недоступна.

Перечень применяемых инструментов:

- «Фильтры» – возможность изменить иерархию структуры элементов IFC по любому параметру;
- «Объединение элементов» – возможность раскрасить группу отсортированных и сгруппированных элементов ЦИМ по любому параметру;
- «Сравнение двух версий модели» – возможность автоматизированно сравнить несколько версий ЦИМ с подсветкой изменённых элементов, включая их информационную составляющую и геометрию;
- «Марки элементов» – возможность автоматизированно вывести на экран любой параметр выбранной группы элементов.

Заключение

По результатам проведённого исследования были определены требования к составу ЦИМ, выполнение которых обеспечит наличие в ЦИМ информации, необходимой и достаточной для проверки выполнения требований нормативных документов (технических регламентов).

Описаны требования к программному комплексу, выполнение которых позволит применить его для экспертизы ЦИМ в формате IFC, на основании которых был отобран и доработан программный комплекс Tangl Control.

Описаны критерии эффективности реализации пилотного проекта, удовлетворение которых позволит принять решение о возможности проведения экспертизы только по ЦИМ без двумерных чертежей.

Замечания экспертов при каждом рассмотрении сравнивались для обеих траекторий, они совпадали, что подтверждает их достоверность. По результатам исследования было установлено, что описанного перечня инструментов программного комплекса достаточно для проверки выполнения требований технических регламентов.

Единовременно была проведена экспертиза проектной документации по двум не зависимым друг от друга траекториям разными экспертами равной квалификации: по одной – на основе анализа графической части в виде двумерных чертежей, по другой – только с применением ЦИМ. Была проведена проверка на соответствие друг другу замечаний экспертов на каждом этапе экспертизы проектной документации, оценена и проанализирована трудоёмкость проведения экспертизы.

Выявлено, что продолжительность экспертизы с применением только ЦИМ превышает продолжительность

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов : Постановление Правительства РФ от 17 мая 2024 г. № 614 : вступает в силу с 1 сентября 2024 г. и действует до 1 сентября 2030 г. / Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru). – 17.05.2024. – № 0001202405170050. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405170050?index=1>.

2. Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства : Постановление Правительства РФ от 27.03.2018 № 331 : вступает в силу с 18 марта 2021 г. и действует до 1 сентября 2029 г. / Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru). – 10.03.2021. – № 0001202103100026.

3. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 : вступает в силу по истечении 7 дней после дня его официального опубликования и действует до 1 сентября 2028 г. / Собрание законодательства Российской Федерации. – 25 февраля 2008 г. – № 8. – Ст. 744.

4. Российская Федерация. Законы. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190 ФЗ (ред. от 14.04.2023) : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2005. – № 1. – Ст. 16 (часть I).

5. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 928/пр и введён в действие с 1 июля 2021 г. / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 177 с.

6. Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года :

экспертизы с применением двумерных чертежей на 4 часа, при этом трудоёмкость экспертизы проектной документации, включающей ЦИМ и двумерные чертежи, выше более чем в 2 раза, чем экспертиза только по ЦИМ.

Было установлено, что информация при различных вариациях графической части проектной документация предоставляется в разном объёме, что необходимо учитывать при написании нормативных документов и планировании процессов анализа проектной документации.

Доработка инструментов программного комплекса значительно повлияла на разницу сроков проведения экспертизы и экспертного сопровождения по ЦИМ до и после их внедрения в работу. Экономия трудозатрат эксперта от добавления каждого отдельного инструмента составила более 10 % от общих его трудозатрат, а от добавления всего списка инструментов составила 30 % от общих трудозатрат эксперта.

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31.10.2022 г. № 3268-р : утверждено на период до 2023 г. с прогнозом до 2035 г. / КонсультантПлюс www.consultant.ru. – 2022.

7. Сербин, С. А. Разработка структуры требований к цифровым информационным моделям объектов капитального строительства на основе показателей качества / С. А. Сербин, Н. Ю. Серёгина, Н. И. Фомин // Строительное производство. – 2024. – № 1. – С. 36–45.

8. Леонова, Т. М. Декомпозиция информации как основа оптимизации бизнес-анализа / Т. М. Леонова, М. М. Подшивалова, А. А. Чистякова // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2023. – № 3-1 (141). – С. 132–135.

9. Зотова, К. А. Проблемы внедрения технологий информационного моделирования в России / К. А. Зотова, Ю. А. Ланкина, Н. С. Мельникова // Огарёв-Online. – 2023. – № 7 (192). – Ст. 4.

10. Сербин, С. А. Анализ текущей нормативной документации по отношению к технологиям информационного моделирования / С. А. Сербин, Н. Ю. Серёгина, Н. И. Фомин // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2022. – № 6 (61). – С. 18–21.

11. Сербин, С. А. Методическое обеспечение контроля качества цифровых информационных моделей объектов капитального строительства на этапе экспертизы проектных решений : диссертация ... кандидата технических наук : 2.1.14 «Управление жизненным циклом объектов строительства» / Сербин Сергей Андреевич ; ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента Б. Н. Ельцина». – Ростов-на-Дону, 2024. – 169 с. – Место защиты: Донской государственный технический университет.

12. Требования к трёхмерной модели архитектурных решений для прохождения экспертизы при использовании технологичной информационной моделирования. Версия 2.0 : утверждены и. о. начальника ГАУ СО «Управление государственной экспертизы» Е. С. Якимовой 16 мая 2025 года / ГАУ Свердловской области «Управление государственной экспертизы». – URL: https://expert-so.ru/files/trebovaniya_AR.pdf.

13. Industry Foundation Classes (IFC) – An Introduction / BuildingSMART International : [Internet resource]. – URL: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>.

14. Industry Foundation Classes 4.0.2.1 : Reference View 1.2. : [Internet resource]. – URL: https://standards.buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/RV1_2/HTML/.

15. Макиша, Е. В. Состояние и перспективы применения систем проверки информационных моделей строительных объектов / Е. В. Макиша, К. А. Мочкин // Строительство: наука и образование. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 70–86. – URL: [download/elibrary_47995064_63177621.pclif](http://download.elibrary_47995064_63177621.pclif).

16. Check and Validation of Building Information Models in Detailed Design Phase: A Check Flow to Pave the Way for BIM Based Renovation and Construction Processes / W. Andrich, B. Daniotti, A. Pavan, C. Mirarchi. – DOI 10.3390/buildings12020154 // Buildings. – 2022. – Vol. 12, Iss. 2. –

REFERENCES

1. Ob utverzhdenii Pravil formirovaniya i vedeniya informatsionnoy modeli ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva, sostava svedenij, dokumentov i materialov, vključaemykh v informatsionnuyu model' ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva i predstavlyaemykh v forme ehlektronnykh dokumentov, i trebovanij k formatam ukazannykh ehlektronnykh dokumentov [On approval of the Rules for the formation and Maintenance of the information model of the capital construction facility, the composition of information, documents and materials included in the information model of the capital construction facility and presented in the form of electronic documents, and the requirements for the formats of these electronic documents] : Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 17 maya 2024 g. № 614 : [Decree of the Government of the Russian Federation dated May 17, 2024 No. 614] : vstupaet v silu s 1 sentyabrya 2024 g. i dejstvuet do 1 sentyabrya 2030 g. [effective September 1 2024 and valid until September 1, 2030] / Ofitsial'nyj internet-portal pravovoj informatsii (www.pravo.gov.ru) [Official Internet Portal of Legal Information (www.pravo.gov.ru)]. – 05/17/2024. – No. 0001202405170050. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405170050?index=1.

2. Ob ustanovlenii sluchaev, pri kotorykh zastroyshhikom, tekhnicheskim zakazchikom, litsom, obespechivayushhim ili osushhestvlyayushhim podgotovku obosnovaniya investitsij, i (ili) litsom, otvetstvennym za ehkspluatatsiyu ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva, obespechivayutsya formirovanie i vedenie informatsionnoy modeli ob'ekta kapital'nogo stroitel'stva [On the establishment of cases in which the developer, the technical customer, the person providing or preparing the investment justification, and (or) the person responsible for the operation of the capital construction facility, ensures the formation and maintenance of the information model of the capital construction facility] : Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 27.03.2018 № 331 [Decree of the Government of the Russian Federation dated March 27, 2018 No. 331] : vstupaet v silu s 18 marta 2021 g. i dejstvuet do 1 sentyabrya 2029 g. [effective March 18, 2021 and valid until September 1, 2029] / Ofitsial'nyj internet-portal pravovoj informatsii (www.pravo.gov.ru) [Official Internet portal of Legal Information (www.pravo.gov.ru)]. – 03/10/2021. – No. 0001202103100026.

3. O sostave razdelov proektnoj dokumentatsii i trebovaniyakh k ikh soderzhaniyu [On the composition of sections of the project documentation and the requirements for their content] : Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.02.2008 № 87 [Decree of the Government of the Russian Federation dated 02/16/2008 No. 87] : vstupaet v silu po istechenii 7 dnei posle dnya ego ofitsial'nogo opublikovaniya i dejstvuet do 1 sentyabrya 2028 g. [enters into force 7 days after the date of its official publication and is valid until September 1, 2028] / Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii [Collection of Legislation of the Russian Federation]. – February 25, 2008 – No. 8. – Article 744.

4. Rossijskaya Federatsiya. Zakony. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii [The Russian Federation. Laws. Urban Planning Code of the Russian Federation] : Kodeks Rossijskoj Federatsii ot 29.12.2004 № 190 FZ (red. ot 14.04.2023) [Code of the Russian Federation No. 190 FZ dated December 29, 2004 (as amended on 04/14/2023)] : prinyat 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

Art. 154.

17. Khattra, S. Towards Automated Structural Stability Design of Buildings – A BIM-Based Solution / S. K. Khattra, H. S. Rai, J. Singh. – DOI 10.3390/buildings12040451 // Buildings. – 2022. – Vol. 12, Iss. 4. – Art. 451.

December 24, 2004] // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii [Collection of Legislation of the Russian Federation]. – 2005. – No. 1. – Article 16 (part I).

5. SP 333.1325800.2020. Informatsionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informatsionnoj modeli ob'ektov na razlichnykh stadiyakh zhiznennogo tsikla [SP 333.1325800.2020. Information modeling in construction. Rules for forming an information model of facilities at various stages of their life cycle] : utverzhdyon prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 31 dekabrya 2020 g. № 928/pr i vvedyon v dejstvie s 1 iyulya 2021 g. [approved by Order No. 928/pr of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 31, 2020 and effective from July 1, 2021] / Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology]. – Moscow : Standartinform, 2021. – 177 p.

6. Ob utverzhdenii Strategii razvitiya stroitel'noj otrasli i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii na period do 2030 goda s prognozom do 2035 goda [On approval of the Strategy for the Development of the Construction industry and Housing and Communal Services of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2035] : Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 31.10.2022 g. № 3268-r [Decree of the Government of the Russian Federation dated 31.10.2022 No. 3268-r] : utverzhdeno na period do 2023 g. s prognozom do 2035 g. [approved for the period up to 2023 with a forecast up to 2035] / Konsul'tantPlyus www.consultant.ru [ConsultantPlus www.consultant.ru]. – 2022.

7. Serbin, S. A. Razrabotka struktury trebovanij k tsifrovym informatsionnym modelyam ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva na osnove pokazatelej kachestva [Development of the structure of requirements for digital information models of capital construction facilities based on quality indicators] / S. A. Serbin, N. Y. Seregina, N. I. Fomin // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 1. – Pp. 36–45.

8. Leonova, T. M. Dekompozitsiya informatsii kak osnova optimizatsii biznes-analiza [Information decomposition as a basis for optimizing business analysis] / T. M. Leonova, M. M. Podshivalova, A. A. Chistyakova // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ehkonomicheskogo universiteta [Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics]. – 2023. – No. 3-1 (141). – Pp. 132–135.

9. Zotova, K. A. Problemy vnedreniya tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya v Rossii [Problems of the introduction of information modeling technologies in Russia] / K. A. Zotova, Yu. A. Lankina, N. S. Melnikova // Ogarev-Online. – 2023. – No. 7 (192). – Article 4.

10. Serbin, S. A. Analiz tekushhej normativnoj dokumentatsii po otnosheniyu k tekhnologiyam informatsionnogo modelirovaniya [Analysis of current regulatory documentation in relation to information modeling technologies] / S. A. Serbin, N. Y. Seregina, N. I. Fomin // Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzhenij [Natural and man-made risks. Safety of structures]. – 2022. – No. 6 (61). – Pp. 18–21.

11. Serbin, S. A. Metodicheskoe obespechenie kontrolya kachestva tsifrovyykh informatsionnykh modelej ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva na ehtape ehkspertizy proektnykh reshenij [Methodological support for quality control of digital information models of capital construction facilities at the stage of exper-

tise of design solutions] : dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk [dissertation ... candidate of Technical Sciences] : 2.1.14 «Upravlenie zhiznennym tsiklom ob'ektov stroitel'stva» [2.1.14 "Life cycle Management of construction facilities"] / Serbin Sergey Andreevich ; FGAOU VO «Ural'skij federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta B. N. El'tsina» [Ural Federal University named after the First President B. N. Yeltsin]. – Rostov-on-Don, 2024. – 169 p. – Mesto zashhity: Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet [Place of defense: Don State Technical University].

12. Trebovaniya k tryokhmernoj modeli arkhitekturnykh reshenij dlya prokhozheniya ehkspertizy pri ispol'zovanii tekhnologij informatsionnogo modelirovaniya. Versiya 2.0 [Requirements for a three-dimensional model of architectural solutions for examination when using information modeling technologies. Version 2.0] : utverzhdeny i. o. nachal'nika GAU SO «Upravlenie gosudarstvennoj ehkspertizy» E. S. Yakimovoj 16 maya 2025 goda [approved by E. S. Yakimova, Acting Head of the State Agrarian University of the Siberian Branch of the Department of State Expertise, on May 16, 2025] / GAU Sverdlovskoj oblasti «Upravlenie gosudarstvennoj ehkspertizy» [State Agrarian University of the Sverdlovsk Region, Department of State Expertise]. – URL: https://expert-so.ru/files/trebovaniya_AR.pdf.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_65

Правила эксплуатации различных типов зданий, сооружений как основа их эффективного функционирования

Rules for the Operation of Various Types of Buildings, Structures As the Basis for Their Effective Functioning

Чернышов Леонид Николаевич

Доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Жилищно-коммунальный комплекс», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, leo.chern@yandex.ru

Chernyshov Leonid Nikolaevich

Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Housing and Communal Services, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, leo.chern@yandex.ru

Калгушкин Алексей Григорьевич

Аспирант кафедры «Жилищно-коммунальный комплекс», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, aleksey@kalgushkin.ru

Kalgushkin Alexey Grigoryevich

Postgraduate Student of the Department of Housing and Communal Services, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, aleksey@kalgushkin.ru

Аннотация. Продолжительность эксплуатационного этапа жизненного цикла основных типов зданий, сооружений, а также требования к безопасности их функционирования формируют определённую культуру их проектирования, строительства и эксплуатации, в основе которой лежат требования соответствующих нормативно-технических документов.

Авторами представлена функциональная графическая модель жизненного цикла объекта капитального строительства, осуществлена укрупнённая выборка из ЕГИС «Стройкомплекс.РФ» зданий определённого функционального назначения на территории РФ, а также проведён анализ результатов эксплуатации различных типов зданий, сооружений (гостиниц, котельных, многоквартирных домов, водоканала, школ, больниц).

Результаты исследования позволили сформулировать критерии дифференциации различных типов зданий, сооружений для обоснования необходимости индивидуальных, для каждого типа объектов, «Правил эксплуатации» в дополнение к

13. Industry Foundation Classes (IFC) – An Introduction / BuildingSMART International : [Internet resource]. – URL: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/.

14. Industry Foundation Classes 4.0.2.1 : Reference View 1.2. : [Internet resource]. – URL: https://standards.buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/RV1_2/HTML/.

15. Makisha, E. V. Sostoyanie i perspektivy primeneniya sistem proverki informatsionnykh modelej stroitel'nykh ob'ektov [The state and prospects of application of information model verification systems for construction facilities] / E. V. Makisha, K. A. Mochkin // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2021. – Vol. 11, No. 4. – Pp. 70–86. – URL: download/elibrary_47995064_63177621.pclf.

16. Check and Validation of Building Information Models in Detailed Design Phase: A Check Flow to Pave the Way for BIM Based Renovation and Construction Processes / W. Andrich, B. Daniotti, A. Pavan, C. Mirarchi. – DOI 10.3390/buildings12020154 // Buildings. – 2022. – Vol. 12, Iss. 2. – Art. 154.

17. Khattra, S. Towards Automated Structural Stability Design of Buildings – A BIM-Based Solution / S. K. Khattra, H. S. Rai, J. Singh. – DOI 10.3390/buildings12040451 // Buildings. – 2022. – Vol. 12, Iss. 4. – Art. 451.

СП 255.1325800.2014 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Общие положения».

Определены ведущие (доминирующие) показатели, характеризующие функциональное назначение здания, строения, сооружения, и описаны последствия эксплуатации объектов различного профессионально-функционального назначения по единым, усреднённым правилам эксплуатации.

Обоснованы предложения, касающиеся организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение разработки индивидуальных «Правил эксплуатации» по различным типам зданий, строений, сооружений с учётом их функционального назначения.

Ключевые слова: безопасность здания; критерии; инженерные системы; конструктивные элементы; обслуживание; правила; проектирование; содержание сооружения; стадии жизненного цикла; текущий ремонт; требования; характеристики; эксплуатация; эффективность; функционирование.

Abstract. The duration of the operational stage of the life cycle of the main types of buildings and structures, as well as the requirements for the safety of their operation, form a certain culture of their design, construction and operation, which is based on the requirements of relevant regulatory and technical documents.

The authors present a functional, graphical model of the life cycle of a capital construction facility, and an enlarged sample from the Unified State Register of Legal Entities "Sroykompleks. RF". The number of buildings of a certain functional purpose on the territory of the Russian Federation, as well as an analysis of the results of operation of various types of buildings and structures (hotels, boiler houses, apartment buildings, water utilities, schools, hospitals).

The results of the study allowed us to formulate criteria for differentiating different types of buildings and structures, in order to justify the need for individual, for each type of facility, "Operat-

Введение

Современный объект недвижимости – как правило, это сложное с инженерной точки зрения сооружение, срок службы, затраты на эксплуатацию и техническое состояние которого зависят не только от проектных решений и заложенных на этапе проектирования эксплуатационных характеристик, но и от соблюдения технологии и качества строительных работ и используемых материалов при его создании [1].

В федеральном законе «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ дано очень важное для специалистов, осуществляющих или планирующих осуществлять деятельность в городском хозяйстве, определение жизненного цикла зданий, строений, сооружений: это «период, в течение которого осуществляется (рисунок 1):

– **создание объекта капитального строительства (далее – ОКС):** замысел; землеотвод; технико-экономическое обоснование; изыскания; проектирование; экспертиза; выбор строительной организации; выбор материалов и оборудования; строительство; строительный контроль; ввод ОКС в эксплуатацию (от 3 до 5 лет);

– **эксплуатация объекта недвижимости:** ввод объекта недвижимости в эксплуатацию; приём, проверка комплектности и организация хранения технической (проектной и рабочей) документации, взаимодействие со строителями, собственниками здания, подрядчиками и пользователями помещений в здании; выбор специализированной организации (профильной организации, организации, осуществляющей специальные виды деятельности в соответствии с законодательством Российской Федерации, обладающей разрешением на осуществление данного вида деятельности, штатом аттестованных специалистов и необходимым оборудованием); проведение мероприятий по приведению инженерных систем и оборудования в режим повседневной эксплуатации; организация предоставления и коммерческий учёт коммунальных услуг (воды, тепла, электричества, интернета, газа, сбора ТКО и канализации); подготовка здания к весенне-летней и осенне-зимней эксплуатации; мониторинг (технические осмотры плановые, внеплановые) конструктивных элементов, инженерных систем и инженерно-технического оборудования здания; обслуживание, текущий и аварийный ремонт объекта недвижимости; санитарное содержание объекта недвижимости и благоустройство, озеленение и содержание прилегающих территорий; эксплуатационный контроль состояния здания и прилегающей территории; обследование технического состояния

ing Rules" in addition to Set of Rules 255.1325800.2014 "Buildings and structures. Operating rules. General provisions".

The leading (dominant) indicators characterizing the functional purpose of buildings, structures, and structures are identified and the consequences of operating facilities of various professional and functional purposes according to uniform, average operating rules are described.

The proposals concerning organizational and technical measures aimed at ensuring the development of individual "Operating Rules" for various types of buildings, structures, and structures, taking into account their functional purpose, are substantiated.

Keywords: building safety; criteria; engineering systems; structural elements; maintenance; rules; design; maintenance of the building; life cycle stages; routine repairs; requirements; characteristics; operation; efficiency; functioning.

здания на предмет проведения капитального ремонта; организация и проведение капитального ремонта ОКС; взаимодействие с контрольно-надзорными органами и органами власти; документальное сопровождение процессов эксплуатации объекта недвижимости (50 и более лет);

– **снос ОКС:** оценка состояния объекта; разработка проекта организации сноса ОКС; получение ордера; выбор демонтажной организации; снос здания, сооружения; рекультивация земельного участка (1–2 года)».

Материалы и методы

В соответствии с сематическим и онтологическим смыслом, понятие «эксплуатация» зданий, строений, сооружений разделяется:

- на эксплуатацию – как основу обеспечения комфортных и безопасных условий для человека. Это касается:
 - зданий, строений для постоянного или длительного проживания людей (жилые дома, гостиницы, общежития, интернаты, детские дома, лечебные учреждения);
 - зданий, строений для массового пребывания людей (зрелищно-развлекательные, спортивные, торговые, пересадочные и другие);
 - зданий, строений повышенного уровня комфорта и энерговооружённости (дома повышенной этажности, умные дома, энергоэффективные дома) [2];
- на эксплуатацию – как основу производства коммунальных ресурсов:
 - эксплуатацию объектов теплосетевого хозяйства (котельных, тепловых пунктов, теплопроизводящего оборудования, осуществляющего производство тепловой энергии, и инженерно-технического оборудования, обеспечивающего транспортировку теплоносителя к объектам потребления);
 - эксплуатацию объектов водоснабжения (зданий, строений, сооружений и соответствующего технологического оборудования, обеспечивающего подъём, очистку, контроль качества и подачу воды потребителям; сбор и приём сточных вод, очистку, контроль качества очистки и сброс их в поверхностные источники);
 - эксплуатацию энергетических объектов в целях энергоснабжения потребителей (сооружения и оборудование местных электрических сетей, энергетического оборудования в целях обеспечения передачи, распределения и накопления электрической энергии для потребления);

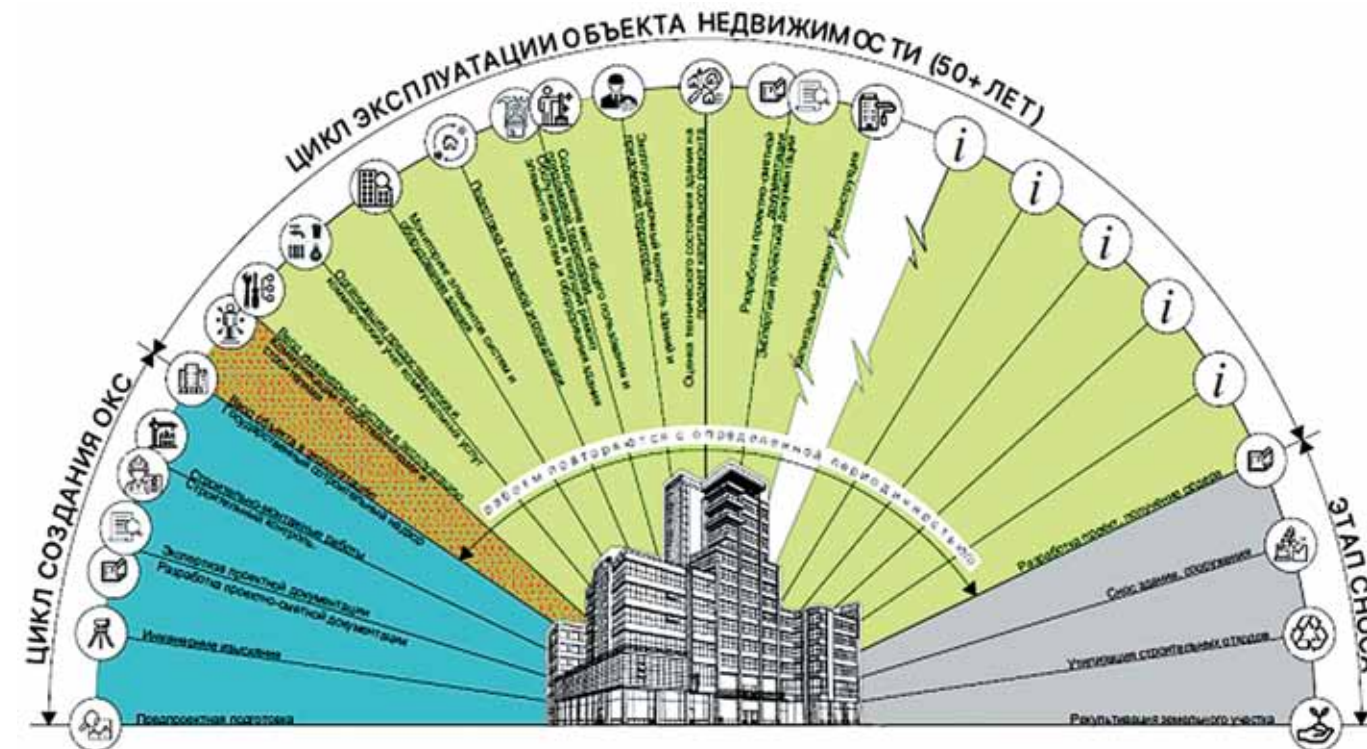


Рис. 1. Функциональная модель жизненного цикла объекта капитального строительства
Fig. 1. Functional model of the life cycle of a capital construction facility

– эксплуатацию объектов газового хозяйства (квартирное, внутридомовое и внутриквартирное газовое оборудование газораспределительных и компрессорных станций в целях осуществления понижения давления газа и распределения его бытовым потребителям).

При этом требования к «безопасности», предусмотренные в данном законе, «закладываются» на стадии проектирования, так как являются непременным условием создания и функционирования зданий, строений, сооружений для постоянного или длительного проживания, а также массового пребывания людей [3].

Этот постулат был изложен в знаменитой триаде, сформулированной римским архитектором, инженером второй половины I века до н. э. Марком Витрувием Поллионом: «прочность, польза, красота».

Это обусловлено также тем, что рядовые пользователи (люди) не могут владеть необходимым объёмом специальных инженерно-технических знаний, которые лежат в основе безопасности объекта капитального строительства на различных этапах его жизненного цикла.

В совокупности понятия «прочность» и «польза» в современном понимании преобразовались в «надёжность» и «функциональность», образовав интегральное понятие конструктивной устойчивости (прочности) и долговременной работоспособности (пользы) ОКС на эксплуатационном этапе его жизненного цикла, которые, в свою очередь, могут быть обеспечены при выполнении соответствующих работ по содержанию, обслуживанию и текущему ремонту конструктивных элементов и инженерных систем здания, сооружения, выполняемых согласно установленным требованиям и инструкциям по эксплуатации.

В свою очередь, требования к выполнению этих работ регламентируются эксплуатационной документацией, в основе которой лежат «Правила эксплуатации» соответствующего типа здания, сооружения.

Эти документы определяют порядок проведения технического обслуживания, текущего и капитального ремонта, осмотров, контроля состояния конструкций и инженерных систем, а также требования к безопасному использованию объектов. Их цель – поддержание проектных характеристик зданий и сооружений на протяжении всего их жизненного цикла, обеспечение безопасности пользователей, сохранности имущества [4].

Специалисты, занимающиеся организацией и осуществлением эксплуатации зданий, инженерного оборудования и сетей, выполняют свою деятельность в условиях неопределённости, возникающей как по причине естественного и технологического старения элементов и систем зданий и сооружений, так и от воздействия внешних факторов, неизбежно возникающих в процессе использования (эксплуатации) объекта недвижимости по назначению.

Когда мы говорим об эксплуатации зданий, строений, сооружений, у специалистов, занимающихся развитием и совершенствованием данного направления деятельности, возникает вопрос, касающийся особенностей её осуществления для объектов недвижимости различного назначения – гостиницы, котельной, многоквартирного дома, водоканала, школы, больницы и т. д. (таблица 1).

Укрупнённая выборка из ЕГИС «Стройкомплекс.РФ» свидетельствует о том, что из 38 видов объектов (зданий, строений, сооружений), по которым имеются «Правила проектирования», одноимённые «Правила эксплуатации» существуют только по 8 видам зданий и сооружений, по 9 видам зданий и сооружений «Правила...» не носят адресного характера, а по остальным видам зданий они отсутствуют. В основном, это объекты социального использования.

СП 255.1325800.2014 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Общие положения» является базовым документом, призванным регулировать общие аспекты

Наименование вида объекта недвижимости	Количество объектов (тыс.)
Многоквартирные дома	959,7
Здания школ, лицеев, гимназий	49,3
Здания техникумов, колледжей и училищ	3,9
Здания высших учебных заведений и их филиалов	1,9
Здания детских садов	48,0
Здания больниц, поликлиник	13,6
Здания санаториев, домов отдыха и пансионатов	11,9
Здания клубов и домов культуры	14,5
Здания магазинов, рынков и торгово-развлекательных центров	17,3
Здания бань, саун и спа-салонов	0,6
Здания театров	2,107
Спортивные здания и сооружения	39,8

Табл. 1. Количество зданий, строений, сооружений на территории РФ
Tabl. 1. Number of buildings and structures on the territory of the Russian Federation

эксплуатации [5]. Он содержит фундаментальные положения, касающиеся:

- общих требований к эксплуатации: поддержание работоспособности, обеспечение безопасности, предотвращение аварий;
- организации эксплуатации: роли и ответственности эксплуатирующих организаций, собственников, пользователей;
- видов работ по эксплуатации: техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт, осмотры;
- документирования: ведение технической документации, журналов осмотров, актов выполненных работ;
- требований к персоналу: квалификация, обучение.

Однако, несмотря на свою значимость, этот документ не может быть полноценно применён при эксплуатации всех типов зданий, строений и сооружений. Это связано с тем, что у каждого типа объектов существуют свои уникальные особенности, которые требуют индивидуального подхода к эксплуатации, обусловленного их функциональным назначением.

Общие положения, сколь бы всеобъемлющими они ни были, не могут учесть всех нюансов и рисков обслуживания соответствующих конструктивных элементов и инженерных систем, возникающих в процессе их эксплуатации.

В результате применение усреднённых правил эксплуатации объектов различного функционального назначения ведёт к неэффективному их использованию, ускоренному износу, снижению безопасности и, как следствие, к экономическим потерям.

Сведения, приведённые в ЕГИС «Стройкомплекс.РФ», свидетельствует не только о том, что количество сводов правил, регулирующих вопросы проектирования, значительно превосходит число документов по эксплуатации, но и о том, что различные типы зданий, строений и сооружений требуют различных правил проектирования, а следовательно, и эксплуатации.

Это обусловлено множеством факторов, которые могут быть представлены нижеприведёнными критериями дифференциации зданий и сооружений, влияющими на

особый режим их функционирования на эксплуатационном этапе жизненного цикла [6].

Критерий функционального назначения
Первоочередная задача жилого здания – обеспечение комфорта, безопасности и бесперебойной работы систем жизнеобеспечения жителей (постоянное отопление, водоснабжение, вентиляция, регулярная уборка, работа лифтов).
Для больницы критически важным является бесперебойная работа медицинского оборудования, стерильность, особые режимы вентиляции и кондиционирования, лифтов, наличие резервных источников питания.
Ключевым аспектом производственных объектов является поддержание режимов работы технологического оборудования, безопасность труда, особые требования к вентиляции и пожарной безопасности, устойчивости строительных конструкций при работе технологического оборудования.
Для спортивных сооружений, важным элементом будет состояние покрытий, исправность спортивного оборудования, систем освещения, а также обеспечение безопасности при проведении массовых мероприятий.
Высотные здания характеризуются сложными инженерными системами (пожаротушение, лифты, климат-контроль), повышенными требованиями к мониторингу конструкций, эвакуации людей.
Критерий используемых конструктивных решений и материалов
Мониторинг состояния конструктивных элементов монолитных и сборных конструкций требует различных инженерно-технических решений.
Деревянные конструкции нуждаются в защите от влаги и биологического разрушения.
Исторические здания требуют бережного обращения и использования специфических реставрационных технологий.
Критерий наличия специализированных инженерных систем
Вентиляция и кондиционирование в операционных и больничных помещениях отличается от подобных систем в торговых и офисных зданиях не только конструкцией инженерного оборудования, но и режимами функционирования.
Системы водоснабжения и водоотведения для промышленных и сельскохозяйственных объектов имеют специфические требования к очистке стоков.
Сети электроснабжения для высокотехнологичных производств или медицинских учреждений требуют повышенной надёжности и резервирования.
Критерий загруженности и интенсивности использования
Здания с высокой посещаемостью (торговые центры, вокзалы) требуют более частой уборки, обслуживания лифтов, эскалаторов и систем контроля доступа.
Объекты, работающие круглосуточно, нуждаются в непрерывном мониторинге и оперативном устранении неисправностей.
Критерий климатических и геологических особенностей использования
Эксплуатация зданий в условиях Крайнего Севера (вечной мерзлоты) или в сейсмоопасных районах требует специфических подходов к мониторингу фундаментов и конструкций.

Тип объекта	Примеры	Критерии дифференциации
Жилые	• МКД, • частные дома, • общежития, гостиницы	1. Режим эксплуатации: 24/7 2. Антропогенная нагрузка: постоянное присутствие людей 3. Социальные нормы: СанПиН 2.1.2.2645-10 4. Тепловой режим: поддержание +18...22 °С 5. Шумовые ограничения: ≤40 дБ ночью 6. Пожарная безопасность: эвакуационные пути 7. Износ коммуникаций: ускоренный в МКД 8. Управление: ТСЖ/УК 9. Энергоэффективность: классы А–В 10. Экология: раздельный сбор ТКО
Общественные	• Школы, • торгово-развлекательные центры (ТРЦ), • больницы, • стадионы	1. Пиковые нагрузки: до 50 тыс. чел.-часов (стадионы) 2. Безопасность: антитеррористическая защита 3. Доступность: СП 138 для маломобильных групп населения 4. Микроклимат: контроль по СП 60.13330.2020 5. Санитарные зоны: 100 м вокруг больниц 6. Акустика: ≤35 дБ в школах 7. Вибрации: ограничения для лабораторий 8. Эвакуация: ≤6 мин. 9. Оборудование: лифты/эскалаторы 10. Эксплуатационные окна: ночные работы
Промышленные	• Заводы, • склады аварийно химически опасных веществ (АХОВ), • животноводческие комплексы	1. Агрессивные среды: кислоты, щёлочи 2. Вибродинамика: ГОСТ 31324 3. Взрывозащита: для АХОВ 4. Биориски: патогены в животноводстве 5. Температурные режимы: от –50 °С (холодильники) 6. Конструктивные нагрузки: крановые балки 7. Пылегазоочистка: ПДК по ГОСТ 12.1.005 8. Ремонтные окна: техперерывы 9. Утилизация отходов: I–IV класс опасности 10. Коррозия: скорость до 1 мм/год
Инфраструктурные	• Теплосети, водопроводы, подземные сооружения	1. Рабочее давление: до 25 атм 2. Коррозионная активность: pH 4–10 3. Непрерывность: запрет остановок >2 ч 4. Ремонтопригодность: доступ 1 раз/5 лет 5. Каскадные риски: аварии с цепным эффектом 6. Диагностика: УЗ-контроль толщины стенок 7. Изоляция: требования к теплопотерям 8. Катодная защита: для подземных конструкций 9. Гидроудары: системы компенсации 10. Экологический ущерб: штрафы до 500 млн руб.
Специальные	• Следственные изоляторы (СИЗО), • помещения правоохранительных органов, • суды, • храмы	1. Режимность: пропускной контроль 2. Безопасность: пуленепробиваемые стёкла 3. Конфиденциальность: защита информации 4. Архитектурные ограничения: реставрация вместо замены 5. Уникальные риски: побеги (СИЗО) 6. Хранилища: спецтребования к архивам 7. Коммуникации: резервированные каналы связи 8. Эвакуация: контингент-специфичная 9. Культовые нормы: для храмов 10. Оборудование: сканеры, детекторы

Табл. 2. Ведущие (доминирующие) показатели, характеризующие функциональное назначение здания, строения, сооружения на эксплуатационном этапе жизненного цикла
Tab. 2. The leading (dominant) indicators characterizing the functional purpose of buildings, structures, structures at the operational stage of the life cycle

Критерий безопасности использования
Объекты с массовым пребыванием людей, взрывопожароопасные объекты, объекты гражданской обороны имеют особые требования к пожарной безопасности, системам оповещения, эвакуационным путям.
Ведущие (доминирующие) показатели, характеризующие функциональное назначение здания, строения, сооружения на эксплуатационном этапе жизненного цикла, приведены в таблице 2.
Опыт применения единых, усреднённых правил эксплуатации к объектам различного профессионально-функционального назначения приводит к критическому положению дел, выражающемуся в следующих последствиях:

- перерасход ресурсов: усреднённые подходы либо игнорируют специфические особенности функционирования объекта, что ведёт к ускоренному износу и авариям, либо заставляют проводить избыточные работы, не имеющие отношения к реальным рискам эксплуатации данного объекта, что ведёт к неоправданным затратам;
- снижение безопасности: отсутствие детализированных требований по эксплуатации для конкретных типов объектов повышает риски возникновения ава-

рий, инцидентов, травматизма и угрожает жизни и здоровью людей. Например, отсутствие специфических правил обслуживания вентиляции в медицинских учреждениях может привести к распространению инфекций;

- сокращение срока службы объектов: неадекватная эксплуатация приводит к преждевременному износу конструкций, инженерных систем и оборудования, сокращая общий срок службы здания и требуя более частых и дорогостоящих ремонтов;
- потеря функциональности: здание, сооружение может перестать выполнять свои функции должным образом. Например, ненадлежащая эксплуатация профильных элементов спортивного сооружения может сделать его непригодным для проведения соревнований;
- экономические потери владельца объекта: увеличение затрат на ремонт, страховые случаи, снижение стоимости активов, штрафы за несоблюдение норм;
- юридические и репутационные риски: преждевременный износ и/или аварии на элементах и инженерных системах здания, сооружения может повлечь за собой административную и уголовную ответственность для собственников и эксплуатирующих организаций [7].

Результаты

Для ликвидации существующего дисбаланса регулирования и осуществления деятельности по эксплуатации зданий, строений, сооружений необходимо:

- Исходить из того, что эксплуатация, в соответствии с федеральным законом «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ, является неотъемлемым, самым длительным и важным для собственника и общества в целом этапом жизненного цикла зданий, строений, сооружений (см. рисунок 1).

При этом общество должно быть уверено в том, что эксплуатирующие организации способны реализовать те ожидания, которые обеспечат дли-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goretти, H. A. A review and bibliometric analysis of utilizing building information modeling (BIM) on effective operation and maintenance (O&M) / H. A. Goretти, P. Kaming.– DOI 10.1051/e3sconf/202342901002 // E3S Web of Conferences : The Third International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials (ICCIM 2023), 20 September 2023. – 2023. – Vol. 429. – Art. 01002.

2. Чернышов, Л. Н. Особенности функционирования многоквартирных зданий на эксплуатационном этапе жизненного цикла / Л. Н. Чернышов, Т. А. Ивчик, А. Г. Калгушкин // Экономика строительства. – 2024. – № 9. – С. 343–347.

3. Об утверждении состава и порядка ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства : Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16.05.2023 № 344/пр : вступает в силу с 1 сентября 2023 г. и действует до 1 сентября 2029 г. / Минюст РФ. – 31 мая 2023 г. – Рег. № 73652.

4. Черепанов, Н. В. Проблемы создания электронного архива конструкторской документации на основе бумажного архива / Н. В. Черепанов, С. П. Буслаев // Инновации и инвести-

тельный период безопасного функционирования объектов городской (поселковой) недвижимости и инфраструктуры. Таким инструментом может быть институт обязательного саморегулирования в сфере управления и эксплуатации жилыми и общественными зданиями, сооружениями.

2. Создание долгосрочной стратегии, определяющей основные направления, приоритеты и механизмы разработки и актуализации правил эксплуатации для всех значимых типов зданий и сооружений.

3. Проведение аудита существующей нормативной базы по эксплуатации зданий, строений, сооружений для выявления пробелов, противоречий в терминологии и дублировании технических требований на основе единой методологии для создания новых и актуализации существующих правил эксплуатации, обеспечивающей их системность и взаимную гармонизацию.

4. Осуществить разработку специализированных сводов правил по эксплуатации для каждого основного типа зданий и сооружений, учитывающих их функциональное назначение, конструктивные особенности, инженерные системы и условия эксплуатации.

Эти СП должны содержать:

- чёткие требования к техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту;
- регламенты проведения осмотров и обследований;
- требования к составу и формам эксплуатационной документации;
- показатели (параметры) состояния объектов и критерии для принятия решений о ремонте или модернизации;
- особенности эксплуатации инженерных систем (вентиляция, кондиционирование, водоснабжение, канализация, отопление, электроснабжение, лифты, системы безопасности).
- рекомендации по энергосбережению и экологической безопасности.

ции. – 2020. – № 10. – С. 163–165.

5. Анализ внедрения технологии информационного моделирования в российских строительных компаниях по проектированию и строительству инженерных систем / В. С. Рашев, Н. С. Астафьева, Л. С. Рогожкин, В. Ю. Григорьев // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 3. – URL: <https://esj.today/PDF/49SAVN320.pdf>.

6. Application of BIM Implementation Process in the Operation and Maintenance of Information Management System in Building Facilities / I. M. Jibrin, M. A. Shehu, S. I. Abubakar, B. O. Akpobasa, F. S. Abdullah. – DOI 10.4314/etsj.v14i2.6 // Environmental Technology and Science Journal. – 2023. – Vol. 14, No. 2. – Pp. 42–50.

7. Коротеев, Д. Д. Перспективы применения цифровых двойников в строительной отрасли / Д. Д. Коротеев, А. А. Ким, А. О. Васютин // Вестник Евразийской науки. – 2024. – Т. 16, № 2. – URL: <https://esj.today/PDF/12SAVN224.pdf>.

8. Digital Twins in the Construction Industry: A Perspective of Practitioners and Building Authority / A. Ammar, H. Nassereddine, N. AbdulBaky, A. AbouKansour, J. Tannoury, H. Urban, C. Schranz. – DOI 10.3389/fbuil.2022.834671 // Frontiers in Built Environment. – 2022. – Vol. 8. – Art. 834671.

9. Барабанова, Т. А. Применение технологии «цифро-

вых двойников» при эксплуатации зданий и сооружений / Т. А. Барабанова, В. В. Балалов, О. С. Блинова. – DOI 10.29039/2308-0191-2022-10-2-81-85 // Строительство и архитектура. – 2022. – Т. 10, Вып. 2 (35). – С. 110–113.

10. Шемонаева, А. А. Исследование программного обеспечения 3D-технологий в решении научно-технических задач в архитектуре / А. А. Шемонаева, А. А. Зеленина // 3D технологии в решении научно-практических задач : V Всероссийская научно-практическая конференция, Красноярск, 4 мая 2025 г. – Красноярск : ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академи-

REFERENCES

1. Goretти, H. A. A review and bibliometric analysis of utilizing building information modeling (BIM) on effective operation and maintenance (O&M) / H. A. Goretти, P. Kaming.– DOI 10.1051/e3sconf/202342901002 // E3S Web of Conferences : The Third International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials (ICCIM 2023), 20 September 2023. – 2023. – Vol. 429. – Art. 01002.

2. Chernyshov, L. N. Osobennosti funktsionirovaniya mnogokvartirnykh zdaniy na ehkspluatatsionnom eh tape zhiznennogo tsikla [Features of the functioning of multi-apartment buildings at the operational stage of the life cycle] / L. N. Chernyshov, T. A. Ivchik, A. G. Kalgushkin // Ehkonomika stroitel'stva [Economics of construction]. – 2024. – No. 9. – Pp. 343–347.

3. Ob utverzhdenii sostava i poryadka vedeniya ispolnitel'noj dokumentatsii pri stroitel'stve, rekonstruktsii, kapital'nom remonte ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva [On approval of the Composition and Procedure for Maintaining Executive Documentation during Construction, Reconstruction, and Major Repairs of Capital Construction Facilities] : Prikaz Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 16.05.2023 № 344/pr [Order No. 344/pr of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated 05/16/2023] : vstupaet v silu s 1 sentyabrya 2023 g. i deystvuet do 1 sentyabrya 2029 g. [effective September 1, 2023 and valid until September 1, 2029] / Minyust RF [Ministry of Justice of the Russian Federation]. – May 31 2023. – Reg. No. 73652.

4. Cherepanov, N. V. Problemy sozdaniya ehlektronnogo arkhiva konstruktorskoj dokumentatsii na osnove bumazhnogo arkhiva [Problems of creating an electronic archive of design documentation based on a paper archive] / N. V. Cherepanov, S. P. Buslaev // Innovatsii i investitsii [Innovations and investments]. – 2020. – No. 10. – Pp. 163–165.

5. Analiz vnedreniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v rossijskikh stroitel'nykh kompaniyakh po proektirovaniyu i stroitel'stvu inzhenernykh sistem [Analysis of the introduction of information modeling technology in Russian construction companies for the design and construction of engineering systems] / V. S. Rashev, N. S. Astafieva, L. S. Rogozhkin, V. Y. Grigoriev // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2020. – Vol. 12, No. 3. – URL: <https://esj.today/PDF/49SAVN320.pdf>.

6. Application of BIM Implementation Process in the Operation and Maintenance of Information Management System in Building Facilities / I. M. Jibrin, M. A. Shehu, S. I. Abubakar, B. O. Akpobasa, F. S. Abdullah. – DOI 10.4314/etsj.v14i2.6 // Environmental Technology and Science Journal. – 2023. – Vol. 14,

ка М. Ф. Решетнева», 2022. – С. 112–115.

11. Чернышов, Л. Н. Организационно-технические и методические предпосылки профессиональной трансформации в ЖКХ / Л. Н. Чернышов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 1 (20). – С. 106–114.

12. Куприков, Н. М. Проблемы методологии информационно-технологического сопровождения технического обслуживания и ремонта / Н. М. Куприков, М. Ю. Куприков, Ю. В. Будкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – Вып. 7. – С. 296–302.

No. 2. – Pp. 42–50.

7. Koroteev, D. N. Perspektivy primeneniya tsifrovyykh dvojnikov v stroitel'noj otrasli [According to J. Prospects for the use of digital twins in the construction industry] / J. According to J. Koroteev, A. N. A. N. Kim, A. N. According to O. N. Vasyutin // Vestnik Evrazijskoj nauki [Bulletin of Eurasian Science]. – 2024. – Vol. 16, No. 2. – URL: <https://esj.today/PDF/12SAVN224.pdf>.

8. Digital Twins in the Construction Industry: A Perspective of Practitioners and Building Authority / A. Ammar, H. Nassereddine, N. AbdulBaky, A. AbouKansour, J. Tannoury, H. Urban, C. Schranz. – DOI 10.3389/fbuil.2022.834671 // Frontiers in Built Environment. – 2022. – Vol. 8. – Art. 834671.

9. Barabanova, T. A. Primenenie tekhnologii «tsifrovyykh dvojnikov» pri ehkspluatatsii zdaniy i sooruzhenij [The use of "digital twins" technology in the operation of buildings and structures] / T. A. Barabanova, V. V. Balalov, O. S. Blinova. – DOI 10.29039/2308-0191-2022-10-2-81-85 // Stroitel'stvo i arkhitektura [Construction and architecture]. – 2022. – Vol. 10, Iss. 2 (35). – Pp. 110–113.

10. Shemonaeva, A. A. Issledovanie programmogo obespecheniya 3D-tekhnologij v reshenii nauchno-tekhnicheskikh zadach v arkhitekture [3D technology software research in solving scientific and technical problems in architecture] / A. A. Shemonaeva, A. A. Zelenina // 3D tekhnologii v reshenii nauchno-prakticheskikh zadach : V Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Krasnoyarsk, 4 maya 2025 g. [3D technologies in solving scientific and practical problems : V All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, May 4, 2025]. – Krasnoyarsk : FGBOU VO «Sibirskij gosudarstvennyj universitet nauki i tekhnologij imeni akademika M. F. Reshetneva» [Siberian State University University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev], 2022. – Pp. 112–115.

11. Chernyshov, L. N. Organizatsionno-tekhnicheskie i metodicheskie predposylki professional'noj transformatsii v ZhKKh [Organizational, technical and methodological prerequisites for professional transformation in housing and communal services] / L. N. Chernyshov // Zhilishhnoe khozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura [Housing and communal infrastructure]. – 2022. – No. 1 (20). – Pp. 106–114.

12. Kuprikov, N. M. Problemy metodologii informatsionno-tekhnologicheskogo soprovozhdeniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta [Problems of methodology of information technology support for maintenance and repair] / N. M. Kuprikov, M. Yu. Kuprikov, Yu. V. Budkin // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. – 2022. – Iss. 7. – Pp. 296–302.

Основные проблемы управления контрактами в энергетической отрасли и способы их преодоления

Key Challenges in Contract Management in the Energy Sector and Ways to Overcome Them

Нарежная Тамара Карповна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация строительства и управление недвижимостью», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, narejnaya@mail.ru

Narezhnaya Tamara Karpovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Organization and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, narejnaya@mail.ru

Кагбе Аарон Ка-Мбайро

Аспирант кафедры «Организация строительства и управление недвижимостью», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, kagbetaar@gmail.com

Kagbet Aaron Ka-Mbairi

Graduate student of the Department of Construction Organization and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, kagbetaar@gmail.com

Аннотация. Цель: изучение основных проблем управления контрактами в энергетической отрасли и способов их преодоления. Методы: формально-логический метод, анализ и синтез, сравнение, системно-структурный подход. Результаты: в процессе исследования выделены особенности строительных контрактов, описаны их отличительные черты. Рассматриваются сложности проектов по строительству объектов энергетики, которые связаны с многочисленными интерфейсами, включая сетевые подключения, водоснабжение и утилизацию отходов, а также с широким кругом заинтересованных сторон. Отдельно систематизированы проблемы управления контрактами в энергетической отрасли и сформулированы рекомендации по их устранению. Помимо этого, акцентировано внимание на трудностях, которые возникают при реализации строительных проектов в развивающихся странах. На примере Республики

Чад выделены ключевые проблемы управления контрактами в энергетическом секторе и потенциальные варианты их решения. Выводы: управление строительными контрактами в сфере энергетики имеет важное значение для обеспечения операционной эффективности, управления рисками и соответствия строгим нормативным требованиям. Решение проблем при управлении контрактами предполагает использование цифровых инструментов, эффективных коммуникационных технологий, электронного документооборота, что в итоге позволит обеспечить инженерную целостность проекта, одновременно снижая затраты на модернизацию или строительство новых энергетических объектов.

Ключевые слова: контракт; строительство; энергетический объект; проблема; управление; коммуникации; документооборот.

Republic of Chad, the key problems of contract management in the energy sector and potential options for their resolution are identified. Conclusions: Construction contract management in the energy sector is important for ensuring operational efficiency, risk management and compliance with strict regulatory requirements. Solving contract management problems requires the use of digital tools, effective communication technologies and electronic document management, which will ultimately ensure engineering integrity while reducing the cost of modernising or constructing new energy facilities.

Keywords: building safety; criteria; engineering systems; structural elements; maintenance; rules; design; maintenance; structures; life cycle stages; routine repairs; requirements; characteristics; operation; efficiency; functioning.

логически чистые. Также в число приоритетных задач входит обеспечение максимальной безопасности, функциональности и бесперебойной работы энергетических установок и систем.

В то же время, как известно, проекты по строительству электростанций и обновлению энергосистем связаны с повышенными требованиями к технической реализации, логистическому обеспечению и финансовому планированию [2]. Кроме того, они имеют высокий уровень организационной сложности, который не характерен для многих

других секторов, поскольку в проекте могут участвовать сотни различных консультантов и специализированных субподрядчиков. Помимо этого, часто решения по производству энергии являются инновационными, используемые материалы и технологии – новыми, а местная география – сложной. Вследствие этого работы по возведению такого рода объектов сталкиваются с уникальными проблемами, которые делают эффективное распределение рисков критически важным для их успеха.

По этой причине основой проекта по строительству электростанций является строительный контракт, который необходимо использовать в разных обстоятельствах с учётом конкретных организационных требований проекта, он определяет права, обязанности и обязательства всех вовлечённых сторон [3]. Тщательно составленный контракт служит основой для управления различными рисками, помогая участникам проекта избежать дорогостоящих разбирательств и преодолеть сложные нормативные, технологические и рыночные неопределённости, присущие энергетическим проектам.

В то же время необходимо акцентировать внимание на том, что энергетический сектор является одним из крупнейших источников строительных споров из-за размера и сложности выполняемых работ. Широкий спектр факторов оказывает влияние на управление контрактами, включая состояние рынка, регулирующее договор право, уровень задействованных инноваций, а также местоположение объекта и разнообразие вовлечённых сторон. Всё это требует тщательного планирования и регулирования, учитывая быстро меняющийся технологический, нормативный, экономический и геополитический ландшафт.

Таким образом, вопросы, связанные с разработкой стратегий, которые можно реализовать для улучшения управления строительными контрактами с целью снижения рисков и обеспечения успешного завершения проектов в энергетической отрасли, являются актуальными, теоретически и практически значимыми, что и предопределило выбор темы данной статьи.

Материалы и методы

Типы обязательств, которые обычно встречаются в строительных контрактах, связанных с возведением энергетических объектов, последствия этих обязательств и подходы эффективного управления рассматривают в своих трудах Мочалин Д. С., Ищенко М. М., Кулачинская А. Ю., Кудрявцева Т. Ю., Yuheng Jiang, Liping Duan, Feng Yue, Jincheng Zhao.

Операционные и эксплуатационные риски, которые обычно принимает на себя подрядчик при строительстве энергетического объекта, детально описываются Нарежной Т. К., Кагбе А. К., Анисимовым И. А., Балабейкиной О. А., Мансуровым И. Д., Mengzeng Cheng, Wei Niu, Jingwei Hu, Chao Lin.

Высоко оценивая имеющиеся на сегодняшний день труды и наработки, следует отметить, что строительный контракт характеризуется сложной и многоуровневой структурой договорных связей, поэтому сбалансированный подход к его реализации является комплексной задачей, которая ещё не нашла своего окончательного решения. Отдельного внимания заслуживают вопросы эффективного управления каждым субподрядом в рамках единого строительного контракта для обеспечения соответствия требованиям клиента и нормативным ограниче-

ниям. Кроме того, в уточнении и дальнейшем развитии нуждаются методы разработки модели жизненного цикла контракта, которая позволит установить справедливое разделение ответственности и принятие риска, связанного со спецификой и объёмом работ.

Таким образом, цель статьи заключается в изучении основных проблем управления контрактами в энергетической отрасли и способов их преодоления.

Методы исследования включают в себя формально-логический метод, анализ и синтез, сравнение, системно-структурный подход.

Результаты

Стандартным форматом контракта, используемым для проектов в области энергетики, является контракт на проектирование, поставку и строительство (ЕРС), который предусматривает единую ответственность за весь проект [4]. Эффективное управление ЕРС-контрактом предполагает структурированный подход к созданию, согласованию, исполнению и мониторингу соглашений, субподрядов, дополнительных работ на протяжении всего жизненного цикла проекта. Это требует тщательного внимания к деталям, проактивного решения проблем и открытого общения между всеми вовлечёнными сторонами. Ключевые элементы эффективного управления включают чёткие условия контракта, надёжные системы отслеживания, гибкие процессы и квалифицированных специалистов [5].

Сфера управления контрактами в энергетическом секторе сталкивается с широким спектром проблем, все из которых описать в рамках одной статьи не представляется возможным. Кроме того, специфика и способы решения возникающих трудностей в некоторой степени определяются степенью модернизации, технической оснащённостью и структурной организацией энергетической отрасли в стране, а также уровнем совершенства правовой системы и стадией развития государства в целом.

Хотя многие из описанных ниже проблем существуют в отрасли уже десятилетиями, современные технологии могут помочь преодолеть эти трудности за счёт улучшения управления, сотрудничества, скорости и эффективности.

1. Недостаточно проработанные и несовершенные стратегии передачи и снижения рисков. Система управления контрактами должна позволять чётко передавать риски, связанные с выполнением проекта, ответственным сторонам. Часто необходимые положения о снижении рисков требуют участия экспертов в различных областях, включая управление материалами, экологическое право, опасные операции и системную инженерию [6]. В связи со сложностью объёма работ, инженерные данные по всем основным составным частям проекта должны быть включены в этап, предшествующий заключению контракта (т. е. этап подготовки к выполнению). Также следует помнить, что специализированное программное обеспечение может помочь эффективно управлять всеми ролями и взаимодействиями в рамках реализации строительного контракта.

2. Проблема соблюдения нормативных требований и внутренних политик. Автоматизированные рабочие процессы, а также возможность аудита всей истории изменений в документах и соглашениях дают возможность организациям оптимизировать задачи по обеспечению

соответствия нормативным требованиям. Система управления жизненным циклом контрактов позволяет установить конкретные бизнес-правила и процессы, которые обеспечивают соответствие как внутренней политике, так и внешним нормативным требованиям.

3. Неэффективное использование ресурсов управления контрактами. Сокращение количества ресурсов, необходимых для управления строительным контрактом, и их оптимизация начинаются с эффективной организации документооборота, а также с интеллектуальной и динамичной таксономии. Управление изменениями в объёме работ и реагирование на проблемы, возникающие на объекте, могут привести к созданию сотен, если не тысяч документов в ходе реализации проекта. Зависимость от ручных процессов и отсканированных PDF-файлов не облегчает нагрузку на менеджеров по контрактам или закупщиков. Чёткое определение объёма работ или точное распределение ответственности, с возможностью поиска и ссылками на всю соответствующую документацию, включая отношения между основными и подчинёнными контрактами, может помочь снизить нагрузку на менеджеров [7]. Программное обеспечение для управления контрактами, поддерживающее хранилище документов, ориентированное на данные, с интеллектуальными функциями запроса и отчётности, делает поиск контрактов, а также сведений и формулировок в них достаточно простым и быстрым.

4. Недостатки в коммуникации и сотрудничестве. В данном случае инструмент управления жизненным циклом контрактов, который позволяет менеджерам и техническим экспертам сотрудничать в режиме реального времени до отправки писем подрядчикам, способен улуч-

шить коммуникацию и избежать недоразумений. Некоторые решения значительно упрощают совместную работу над контрактами и переговоры, позволяя всем участникам публично или в частном порядке обмениваться сообщениями, комментировать, вносить правки и утверждать контракты с помощью интуитивно понятного облачного сервиса.

Описанные выше проблемы не являются исчерпывающими, с целью дополнения представленного изложения в таблице 1 систематизирован дополнительно ряд сложностей с выделением их последствий и возможных путей преодоления.

Обсуждение

Рассмотренные выше и приведённые в таблице 1 проблемы управления строительными контрактами, по сути, являются универсальными и общеизвестными. Однако, как отмечалось ранее, определённая специфика может проявиться в результате особенных местных условий страны-реципиента энергетического проекта.

Несмотря на более чем четверть века интенсивного опыта в области инвестирования в строительные проекты, связанные с развитием инфраструктуры, энергетики, объектов гражданского и промышленного строительства в развивающихся странах, международные финансовые учреждения, эксперты, представители научно-экспертного сообщества по-прежнему сообщают о серьёзных проблемах в реализации и управлении проектами [8]. Многие из них напрямую связаны с неэффективным планированием и управлением. Также аналитики пришли к выводу, что большинство развивающихся стран просто не располагает достаточным институциональным потенциалом или квалифицированными кадрами для эффективного

Проблема	Последствия для проекта	Оценка потерь и рисков	Рекомендации по устранению
Неясные или неполные условия контрактов	Недопонимание обязанностей сторон, споры, задержки	Упущение до 9–15 % стоимости контракта из-за неточностей	Применение типовых форм контрактов с чётким распределением рисков и технических параметров
Слабая система учёта и согласования изменений в проекте	Нарушение сроков, рост затрат, конфликтные ситуации	Превышение бюджета до 33 %, увеличение длительности проекта более чем на 60 %	Создание официальной процедуры внесения изменений с ответственностью и документацией
Отсутствие системного контроля за исполнителями	Завышение цен, снижение качества работ, нарушение графиков	Более 40 % проектов испытывают перерасход бюджета	Назначение надзорных групп, проведение регулярных проверок, применение штрафных санкций
Непрозрачные закупки и выбор подрядчиков	Злоупотребления, коррупционные риски, рост стоимости оборудования и работ	Миллиардные потери на уровне крупных государственных проектов	Проведение открытых конкурсов, цифровые тендеры, жёсткие критерии выбора подрядчиков
Несовпадение между национальными и международными нормами	Проблемы в трансграничных проектах, юридические конфликты	До 80 % международных контрактов сталкиваются с правовыми сложностями	Включение международных норм в контракт, юридическое сопровождение, страхование правовых рисков
Противоречия между проектной документацией и условиями контракта	Ошибки при реализации, дополнительные расходы, конфликт интересов	Почти половина претензий возникает из-за несогласованности условий и ТЗ	Согласование всех частей проекта на этапе заключения контракта, работа специальной комиссии
Недостаточно чёткие условия сервисного обслуживания и эксплуатации	Снижение надёжности оборудования, слабый контроль за работой подрядчика	До 35 % контрактов не достигают требуемого уровня качества обслуживания	Установление конкретных показателей качества, графиков проверок, санкций за нарушения
Валютные колебания и рост цен на материалы	Увеличение бюджета, задержки поставок	До 60–66 % перерасхода бюджета в условиях инфляции или нестабильного курса	Введение условий об индексации цен, привязка оплаты к надёжным валютам, включение резервов
Отсутствие цифрового сопровождения контрактов и документооборота	Ручные ошибки, запоздалые отчёты, слабый контроль	Потери до 10 % из-за неэффективного управления данными и договорами	Внедрение электронных систем для учёта контрактов, автоматизация отслеживания сроков и задач

Табл. 1. Проблемы управления контрактами в энергетической отрасли
Tab. 1. Contract management issues in the energy sector

Проблема	Описание / специфика региона	Последствия / типичные риски	Комментарий / возможные решения
Отсутствие институциональной контрактной культуры	Большинство проектов финансируется внешними инвесторами, а местные органы не имеют опыта комплексного управления контрактами	Подписание невыгодных условий, передача контроля внешним агентам	Создание национальных агентств по контрактному сопровождению с поддержкой доноров и международных неправительственных организаций
Крайне низкий уровень юридической подготовки госструктур	Контракты часто составляются без оценки рисков, в них отсутствуют пункты о форс-мажоре, арбитраже, санкциях	Рост зависимости от иностранных юристов, незащищённость перед подрядчиками	Программы подготовки госкадров в контрактном праве, участие международных наблюдателей
Коррупция и клановость в распределении контрактов	Решения о подрядчиках часто принимаются на основе личных связей, а не тендерных процедур	Заниженное качество, завышенные сметы, «мёртвые» стройки	Независимый аудит со стороны международных доноров (ЕС, Всемирный банк, Африканский банк развития)
Отсутствие цифровых реестров и учёта контрактов	Все документы – на бумаге, нет общей базы; большие проблемы с контролем исполнения условий	Потеря данных, дублирование обязательств, сложности с отслеживанием оплаты	Внедрение цифровой платформы учёта (даже на базе Excel, LibreOffice, Airtable и т. д.)
Поставки оборудования и материалов не защищены контрактами	Из-за слабого контроля логистики контракты не покрывают вопросы доставки, таможи, сертификации	Срывы поставок, простаивание проектов, удорожание до 50–70 %	Включение в контракты пунктов об ответственности за логистику и таможенное сопровождение
Зависимость от валютных колебаний без хеджирования	Контракты в евро/долларах, оплата в местной валюте, девальвация 30–60 % – подрядчики несут убытки	Массовые остановки работ, отказ от исполнения обязательств	Индексация контрактных сумм, мультивалютные условия, поэтапная оплата
Отсутствие систем мониторинга качества и сроков	Нет технических инспекций, проектный надзор ограничен или вообще отсутствует	Объекты не соответствуют нормам, быстро выходят из строя, не вводятся в эксплуатацию	Привлечение независимых инспекторов (из соседних стран или при поддержке международных агентств)
Международные подрядчики диктуют условия	Из-за отсутствия конкуренции 1 – 2 крупные компании фактически формируют «монополию на тендер»	Потеря суверенного контроля, постоянное удорожание и пролонгация контрактов	Создание региональных альянсов закупок, открытые платформы отбора подрядчиков
Отсутствие связи контрактов с государственным бюджетом и планированием	Контракты подписываются вне бюджета, без увязки с национальными программами и стратегиями	Финансирование прекращается, объекты остаются незавершёнными	Связка контрактов с госпрограммами, включение обязательного планирования по результатам затрат

Табл. 2. Ключевые проблемы управления контрактами в энергетическом секторе слаборазвитых стран (на примере Республики Чад)

Tab. 2. Key contract management issues in the energy sector in less developed countries (using the Republic of Chad as an example)

планирования и реализации проектов. Кроме того, в ряде публикаций отмечается, что основным препятствием на пути реализации проектов и программ, а также их эксплуатации после завершения являются не финансовые ресурсы, а административный потенциал.

В современной литературе отмечается, что общие проблемы, встречающиеся в управлении строительными проектами в развивающихся странах, включают (1) недостаточное планирование, (2) неточности в выполнении и реализации проектов, (3) превышение затрат и (4) несоблюдение графика проекта и пороговых значений качества.

Анализируя опыт Республики Чад, в таблице 2 авторы выделили основные сложности и препятствия управления контрактами в энергетическом секторе страны.

Заключение

Понимание и управление строительными контрактами имеет решающее значение для успешной реализации

любого проекта. Особую актуальность данная проблематика имеет для энергетической отрасли.

Согласно оценкам, переход к чистой энергии займёт десятилетия и будет проходить по-разному в разных странах мира, но инфраструктура и объекты, необходимые для этих перемен, уже проектируются и строятся. В связи с этим разработчикам, владельцам, проектировщикам и подрядчикам, которые стремятся быть в авангарде новой «зелёной» экономики, необходимо владеть чёткими и эффективными инструментами управления строительными контрактами, уметь разрешать возникающие споры, прогнозировать и нивелировать будущие риски.

В статье описаны ключевые проблемы управления контрактами в энергетической отрасли. На примере Республики Чад обозначены сложности, характерные для управления контрактами в сфере энергетики для развивающихся стран, также выделены варианты их возможных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин, С. А. Механизмы управления государственно-частным партнёрством в сфере энергетики / С. А. Ильин. – DOI 10.34670/AR.2024.35.95.036 // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Т. 14, № 1А. – С. 178–186.
2. Гусева, Е. С. Международный рынок строительства атомных электростанций в условиях декарбонизации мировой экономики / Е. С. Гусева. – DOI 10.37124/20799136_2023_3_55_84 // Экономика устойчивого развития. – 2023. – № 3 (55). – С. 84–88.
3. Studying Potentials and Barriers of Successful Implementation

of Smart Contracts in Saudi Arabia's Construction Industry / G. Alfalah, A. Al-Sakkaf, E. M. Abdelkader, S. Rawdhan, M. E. Shaawat, O. Alshamrani. – DOI 10.1155/adce/9646556 // Advances in Civil Engineering. – 2024. – Vol. 2024, Iss. 1. – Pp. 20–29.
4. Ruiz, J. G. The Application of Artificial Intelligence Planning and Scheduling in Photovoltaic Plant Construction Projects / J. G. Ruiz, H. Díaz, R. G. Crespo. – DOI 10.1111/exsy.13798 // Expert Systems. – 2024. – Vol. 42, Iss. 2. – Pp. 29–35.
5. Василькова, С. В. Особенности регулирования и практики строительства энергетических объектов иностранными ком-

паниями в Китайской народной республике / С. В. Василькова. – DOI 10.37882/2223-2974.2024.10.06 // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2024. – № 10. – С. 100–106.

6. Xu, Q. CVaR-based method for optimizing the contract bidding strategy of PV power stations / Q. Xu, S. Qiao, M. Chen, J. Ju, Z. Li. – DOI 10.1002/eng2.12730 // Engineering Reports. – 2023. – Vol. 5, Iss. 10. – Pp. 18–25.

7. N. Qi Optimization and Simulation of a Dynamic Management

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ilyin, S. A. Mehanizmy upravleniya gosudarstvenno-chastnym partnyorstvom v sfere ehnergetiki [Mechanisms for managing public-private partnerships in the energy sector] / S. A. Ilyin. – DOI 10.34670/AR.2024.35.95.036 // Ehkonomika: vchera, segodnya, zavtra [Economics: yesterday, today, tomorrow]. – 2024. – Vol. 14, No. 1A. – Pp. 178–186.

2. Guseva, E. S. Mezhdunarodnyy rynek stroitel'stva atomnykh ehlektrostantsij v usloviyahh dekarbonizatsii mirovoj ehkonomiki [International market for the construction of nuclear power plants in the context of decarbonization of the global economy] / E. S. Guseva. – DOI 10.37124/20799136_2023_3_55_84 // Ehkonomika ustojchivogo razvitiya [Economics of sustainable development]. – 2023. – No. 3 (55). – Pp. 84–88.

3. Studying Potentials and Barriers of Successful Implementation of Smart Contracts in Saudi Arabia's Construction Industry / G. Alfalah, A. Al-Sakkaf, E. M. Abdelkader, S. Rawdhan, M. E. Shaawat, O. Alshamrani. – DOI 10.1155/adce/9646556 // Advances in Civil Engineering. – 2024. – Vol. 2024, Iss. 1. – Pp. 20–29.

4. Ruiz, J. G. The Application of Artificial Intelligence Planning and Scheduling in Photovoltaic Plant Construction Projects / J. G. Ruiz, H. Díaz, R. G. Crespo. – DOI 10.1111/exsy.13798 //

System for Building Construction Based on Low-Power Wireless Sensor Networks / N. Qi. – DOI 10.1155/2022/1841066 // Journal of Sensors. – 2022. – Vol. 2022, Iss. 1. – Pp. 76–85.

8. Gec, S. Multi-party smart contract for an AI services ecosystem: An application to smart construction / S. Gec, P. Kochovski, D. Lavbič, V. Stankovski. – DOI 10.1002/cpe.6895 // Concurrency and Computation: Practice and Experience. – 2022. – Vol. 35, Iss. 18. – Pp. 34–41.

Expert Systems. – 2024. – Vol. 42, Iss. 2. – Pp. 29–35.

5. Vasilkova, S. V. Osobennosti regulirovaniya i praktiki stroitel'stva ehnergeticheskikh ob'ektov inostrannymi kompaniyami v Kitajskoj narodnoj respublike [Features of regulation and practice of construction of energy facilities by foreign companies in the People's Republic of China] / S. V. Vasilkova. – DOI 10.37882/2223-2974.2024.10.06 // Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ehkonomika i pravo. [Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Economics and Law]. – 2024. – No. 10. – Pp. 100–106.

6. Xu, Q. CVaR-based method for optimizing the contract bidding strategy of PV power stations / Q. Xu, S. Qiao, M. Chen, J. Ju, Z. Li. – DOI 10.1002/eng2.12730 // Engineering Reports. – 2023. – Vol. 5, Iss. 10. – Pp. 18–25.

7. N. Qi Optimization and Simulation of a Dynamic Management System for Building Construction Based on Low-Power Wireless Sensor Networks / N. Qi. – DOI 10.1155/2022/1841066 // Journal of Sensors. – 2022. – Vol. 2022, Iss. 1. – Pp. 76–85.

8. Gec, S. Multi-party smart contract for an AI services ecosystem: An application to smart construction / S. Gec, P. Kochovski, D. Lavbič, V. Stankovski. – DOI 10.1002/cpe.6895 // Concurrency and Computation: Practice and Experience. – 2022. – Vol. 35, Iss. 18. – Pp. 34–41.

УДК 72.05: 004.9

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_76

Применение современного программного обеспечения при оценке микроклимата на примере православных храмов

Application of Modern Software in Assessing the Microclimate of Orthodox Temples

Михеева Юлия Леонидовна

Старший преподаватель кафедры «Архитектура и градостроительство», ФГБОУ ВО «Херсонский технический университет» (ХТУ), Россия, 275500, Херсонская область, Геническ, улица Центральная, 196, miheevajl@gmail.com

Mikheyeva Yulia Leonidovna

Senior lecturer of the Department of Architecture and Urban Planning, Kherson Technical University (KTU), Russia, 275500, Kherson Oblast, Genichesk, ulitsa Tsentral'naya, 196, miheevajl@gmail.com

Михеев Павел Олегович

Магистр кафедры «Прикладная математика», Физико-технический институт ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», (КФУ им. В. И. Вернадского), Россия, 295007, Республика Крым, Симферополь, проспект академика Вернадского, 4, mpavel@duck.com

Mikheyev Pavel Olegovich

Master's Degree of the Department of Applied Mathematics, Institute of Physics and Technology, Vernadsky V. I. Crimean Federal University (V. I. Vernadsky CFU), Russia, 295007, Crimea Republic, Simferopol, Academician Vernadsky prospekt, 4, mpavel@duck.com

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения современного программного обеспечения при оценке микроклимата на примере действующих православных храмов, расположенных на территории Крыма, которые имеют статус объекта культурного наследия (ОКН). Целью работы является выбор программного обеспечения, необходимого для автоматизированной статистической обработки данных, а также создания пространственной модели микроклиматических параметров для принятия решений по оптимизации условий, которые будут способствовать сохранению ОКН.

В рамках проводимого исследования были проведены обработка и систематизация информации пространственных изменений относительной влажности и температуры внутреннего воздуха, наблюдаемых в Соборе Петра и Павла в г. Симферополе и Владимирском Соборе (усыпальнице адмиралов) в г. Севастополе, а также их визуализация с помощью IT-технологий и языка программирования Python.

Основными методами исследования являются: системный подход получения информации локальных изменений относительной влажности и температуры внутреннего воздуха на

обозначенных объектах, анализ и изучение возможностей существующих прикладных программ, предназначенных для статистической обработки данных, а также выбор программного обеспечения, которое позволит представлять информацию в виде 3D-графиков.

В результате визуального осмотра на ряде объектов культовой архитектуры были обозначены нарушения сохранности интерьеров вследствие несоблюдения оптимальных параметров микроклимата. Для решения этой проблемы и поиска методов, гарантирующих поддержание нормативных показателей в условиях действующих культовых сооружений, были разработаны и внедрены:

– методика исследований в условиях непрерывной эксплуатации, которая предусматривает автоматизированную статистическую обработку данных с помощью табличного прило-

Abstract. The article examines the possibilities of applying modern software for assessing the microclimate, using functioning Orthodox churches located in Crimea as examples, which are recognized as cultural heritage sites. The aim of the study is to select software necessary for automated statistical data processing and for creating a spatial model of microclimatic parameters to support decision-making aimed at optimizing conditions conducive to the preservation of cultural heritage objects.

As part of the research, data processing and systematization of spatial variations in relative humidity and indoor air temperature observed in the Peter and Paul Cathedral in Simferopol and the Vladimir Cathedral (the Admirals' Mausoleum) in Sevastopol were carried out, along with their visualization using IT technologies and the Python programming language.

The main research methods include a systematic approach to obtaining information on local changes in relative humidity and indoor air temperature at the specified sites, analysis and study of the capabilities of existing application software designed for statistical data processing, as well as the selection of software that allows representing information as 3D graphs.

Введение

Проблемы, связанные с нарушением микроклимата в процессе непрерывной эксплуатации культовых сооружений православной веры, являющихся объектами куль-

жения Microsoft Excel;

– программа для ЭВМ «ThermalVis of Indoor Environments» на языке Python, которая позволяет представлять информацию в виде цветowych схем с привязкой к планам и разрезам объектов.

Написанный код, являясь частью автоматизированной системы контроля микроклимата на объектах ОКН, позволит оперативно выявлять зоны теплопотерь и перегрева, что будет способствовать принятию решений для оптимизации систем климат-контроля и предотвращению рисков утраты объектов культурного наследия.

Ключевые слова: микроклимат помещений; температурно-влажностный режим; язык программирования Python; трёхмерные модели; тепловые карты.

As a result of visual inspections at several religious architectural sites, violations of interior preservation were identified due to non-compliance with optimal microclimate parameters. To address this issue and find methods to ensure maintaining normative indicators under conditions of active religious buildings, the following were developed and implemented:

– a research methodology for continuous operation conditions, which provides automated statistical data processing using the Microsoft Excel spreadsheet application;

– a computer program "ThermalVis of Indoor Environments" written in Python, which allows representing information as color schemes linked to the plans and sections of the building.

The developed code, as part of an automated microclimate monitoring system for cultural heritage objects, enables quick identification of heat loss and overheating zones, facilitating decisions to optimize climate control systems and prevent risks of cultural heritage loss.

Keywords: indoor microclimate; temperature-humidity regime; Python programming language; three-dimensional models; heat maps.

турного наследия (ОКН), актуальны как в России, так и за рубежом. В Крыму также есть ряд примеров храмов и соборов, которые подвержены негативным последствиям воздействия природного и человеческого факторов (Ка-



Рис. 1. Казанский собор в г. Феодосии: а) выше 2 метров от уровня пола стены покрыты копотью, сажей и продуктами горения свечей и лампад; б) отслоение, шелушение, растрескивание живописного слоя на парусах, сводах и куполе собора

Fig. 1. Kazan Cathedral in Feodosiya: a) soiling and deposits of combustion products from candles and icon lamps on walls above 2 meters from floor level; b) delamination, flaking, and cracking of the painted layer on the sails, vaults, and dome of the cathedral

занский собор в г. Феодосии (рисунок 1), Петропавловский собор в г. Симферополе и др.).

В стремлении создать комфортные условия для прихожан и церковных служащих могут быть нарушены нормы условий для сохранности предмета охраны в интерьерах, а в существующей нормативной базе отсутствуют строго регламентированные нормы и правила для действующих культовых сооружений, являющихся ОКН. Отметим также отсутствие в мировой практике единого мнения по оптимальным значениям температуры и влажности внутреннего воздуха для культовых сооружений, в интерьерах которых монументально-декоративное убранство является предметом охраны.

Задача обеспечения нормативных параметров микроклимата, удовлетворяющих требованиям комфортности пребывания людей и сохранности объектов культурного наследия осложняется рядом нерегулируемых факторов, таких как природно-климатические условия местности, объёмно-планировочные и конструктивные решения, специфика использования объекта (регулярность посещений, сценарность ведения служб, традиционность отделки и оснащения интерьеров). Примерно 20 % от годового цикла эксплуатации подобных объектов в интерьере наблюдаются показатели температуры и влажности не только выше допустимых значений, но и их критические перепады в течение 1-2 часов, что вызывает экстремальные нагрузки на предмет охраны ОКН.

В целях соблюдения норм и правил, за основу которых были приняты «Единые правила организации комплектования, учёта, хранения и использования музейных предметов и музейных коллекций», необходимо обеспечить постоянный уровень нормативных температуры и влажности и оперативно нивелировать критические перепады этих показателей в периоды эксплуатационных нагрузок [1–5].

Цель исследования

Цель данного исследования – определение характеристик современного программного обеспечения, необходимого для автоматизированной статистической обработки данных, а также создания пространственной модели микроклиматических параметров для принятия решений по оптимизации условий, способствующих сохранению ОКН.

Материалы и методы

Для формирования развёрнутой информации о взаимосвязи внешних природно-климатических и внутренних факторов, возникающих в процессе эксплуатации объекта, предлагается изучить динамику изменений показателей температуры и влажности внутренней среды в зависимости от объёмно-планировочных особенностей, режима эксплуатации здания и влияния наружной среды. Изучение микроклимата позволяет выявить характерные воздействия конкретных факторов на определённые участки в интерьере [6–8]. Именно с этой целью по методике предложенной лабораторией музейной климатологии ГосНИИРеставрации, с некоторыми авторскими изменениями, с октября 2015 года по ноябрь 2016 года проводились натурные измерения на объектах Крыма (рисунок 2). Выбранные объекты соответствовали категориям:

- православные культовые сооружения XVIII – нач. XX веков;
- крестово-купольное планировочное решение;

- круглогодичный действующий городской собор.
- Методологический подход получения информации локальных изменений относительной влажности и температуры внутреннего воздуха сочетает:
- продольные исследования, при которых в определённых точках ведётся непрерывное наблюдение за показателями в период годового цикла в условиях эксплуатации;
 - поперечные исследования, при которых в тех же точках фиксируются одновременно все показатели, тем самым получая пространственный снимок микроклимата, сложившегося под воздействием природно-климатических и эксплуатационных нагрузок.

Данная методика предусматривает:

- а) установку контрольно-измерительных приборов по определению: параметров температуры и относительной влажности воздуха внутри собора, температуры на поверхности ограждающих конструкций, показателей температуры и влажности наружного воздуха;
- б) регистрацию показателей в течение года, частота и регулярность которых определяется в зависимости от погодных условий и эксплуатационной нагрузки; систематизацию, обобщение и обработку полученной информации с использованием прикладного программного обеспечения (ПО).

Сбор, обработка и анализ информации природно-климатических условий и показателей температуры и влажности, проводимых на исследуемых объектах, в совокупности с особенностями их эксплуатации достаточно обширны и трудоёмки [9–11]. Во многом зависят от технических возможностей персонального компьютера и его операционной системы. Также необходимо учесть, что человек, который будет отвечать за качество мониторинга микроклимата при дальнейшей эксплуатации объекта, может быть знаком только с базовым программным обеспечением. Именно поэтому в данном исследовании была использована программа обработки данных Microsoft Excel, которая обладает удобным и простым интерфейсом, является одним из наиболее популярных приложений в мире для статистических расчётов и анализа больших объёмов данных в виде таблиц и графиков. Многие методики, разрабатываемые Государственным научно-исследовательским институтом реставрации, в частности и для музеев, были выполнены именно в этой программе.

Большой интерес для процесса мониторинга представляют тепловые карты, на которых визуализируются изменяющиеся во времени и пространстве параметры объекта наблюдения (в нашем случае температуры) с осреднением их значений в пределах определённых интервалов времени. Предназначенная для разработки двумерных моделей, Microsoft Excel имеет ограниченные возможности в визуализации подобных 3D-графиков, так как не обладает инструментами особенностей цветовых переходов, необходимых для создания интерактивных и динамических теплокарт.

В существующем перечне программных пакетов визуализации больших массивов данных, например ParaView, Gnuplot и др., хочется выделить отечественный программный комплекс «Центральный пульт» (SAYMON). Но главным условием в формировании результатов в

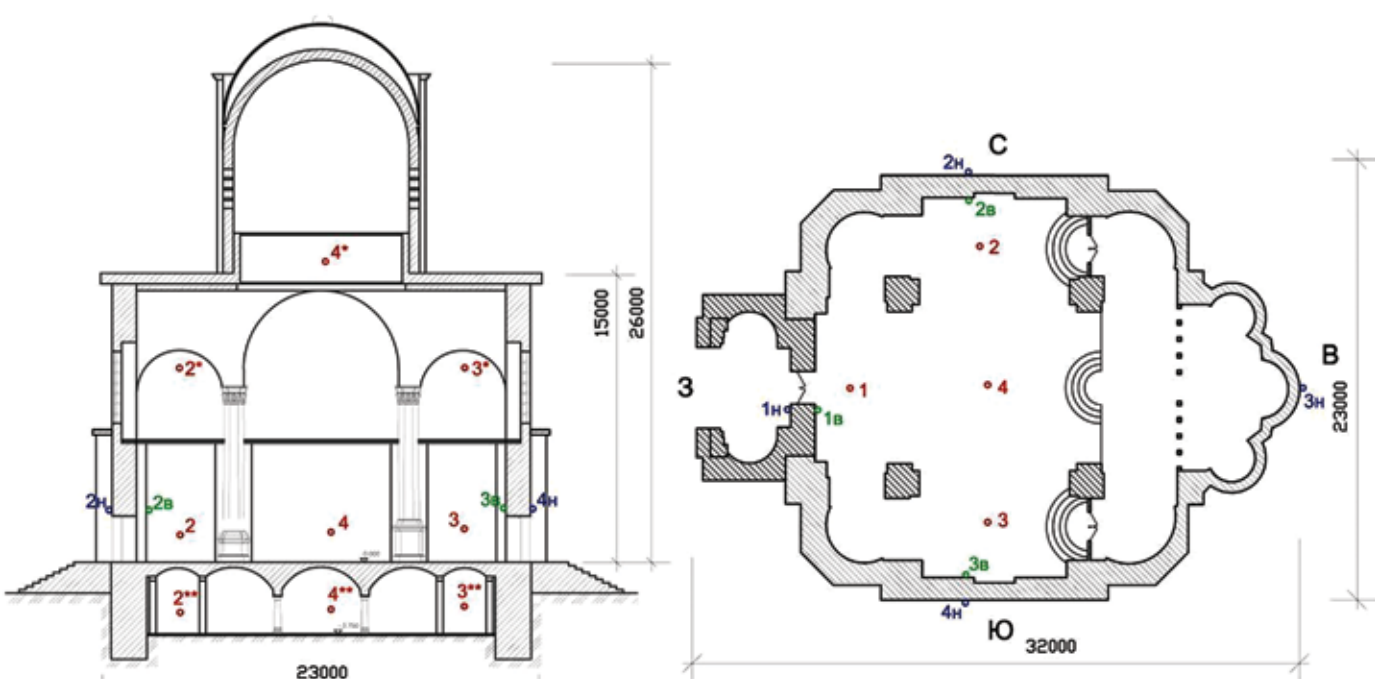


Рис. 2. План Владимирского собора в г. Севастополе с маркировкой точек для массива данных
Fig. 2. Plan of Vladimirsky Cathedral in Sevastopol with marked points for data array

данном исследовании является одновременное считывание нескольких значений одного параметра в различных точках на разных высотных отметках относительно уровня пола с определением максимальных и минимальных значений и построения сетки распределения температур в пространстве. Самым оптимальным инструментом, по мнению авторов статьи, для поставленных задач по анализу и визуализации данных является язык программирования (ЯП) Python – удобная и широко используемая среда, которая подходит для решения вопросов среди специалистов самых разных областей, включая дизайн и архитектуру. В отличие от других ЯП, например Matlab, Python более известен и популярен у молодых специалистов, предоставляет бесплатную среду разработки, под него создана большая база библиотек, значительно упрощающая процесс работы [12; 13]. В нашем случае для визуализации температурных перепадов внутри собора были использованы две основные библиотеки:

- Matplotlib предназначена для создания графиков и визуализации данных и позволяет легко строить как простые, так и сложные графики, что делает её идеальным инструментом для представления результатов расчётов в наглядной форме;
- Scipy помогает в проведении вычислений, необходимых для построения температурных карт, и включает в себя различные функции для работы с

численными данными, в том числе интерполяцию, которая была использована для создания гладкой температурной поверхности.

На основании поставленной цели в данном исследовании был разработан алгоритм (рисунок 3) и программа для ЭВМ на языке Python «ThermalVis of Indoor Environments» [14] для трёхмерной визуализации температурного распределения в помещении.

Таким образом, основными методами данного исследования являются:

- системный подход к изучению микроклимата на объектах культовой архитектуры, который формируется в зависимости от ряда факторов;
- сравнительный анализ и изучение возможностей и ограничений прикладного программного обеспечения в обработке и визуализации параметров;
- а также рассматриваются возможности применения языка программирования для создания 3D-графиков с целью наглядного представления и оценки микроклиматических условий.

Результаты

Обеспечение поддержания нормативных показателей микроклимата на объектах культурного наследия в условиях непрерывной эксплуатации в совокупности с природно-климатическими условиями местности усложняется особенностью объёмно-планировочных, конструктивных

Дата / время	Показатели наружного воздуха		Показатели внутреннего воздуха в точках								Температура внутренних поверхностей стен			Температура наружных поверхностей стен			
	Т, °С	φ, %	Т, °С				φ, %										
			1	2	3	4	1	2	3	4	1в	2в	3в	1н	2н	3н	4н
Петропавловский собор г. Симферополь																	
4.01.16 / 13:00	-8,2	80	15	13,8	15,3	12,3	47	52	51	53	12,2	13,6	14,7	-1,4	-4,2	-3,5	-2,2
Владимирский собор г. Севастополь																	
19.10.17 / 12:00	23,3	68	20,3	20,5	20,8	21,1	65	65	65	64	17,3	17,1	17,3	15,9	13,5	20,6	22,4

Табл. 1. Показатели метеоданных, воздушной среды и поверхностей ограждающих конструкций в соборах по точкам
Tab. 1. Indicators of weather data, air environment and surfaces of enclosing structures in cathedrals by points

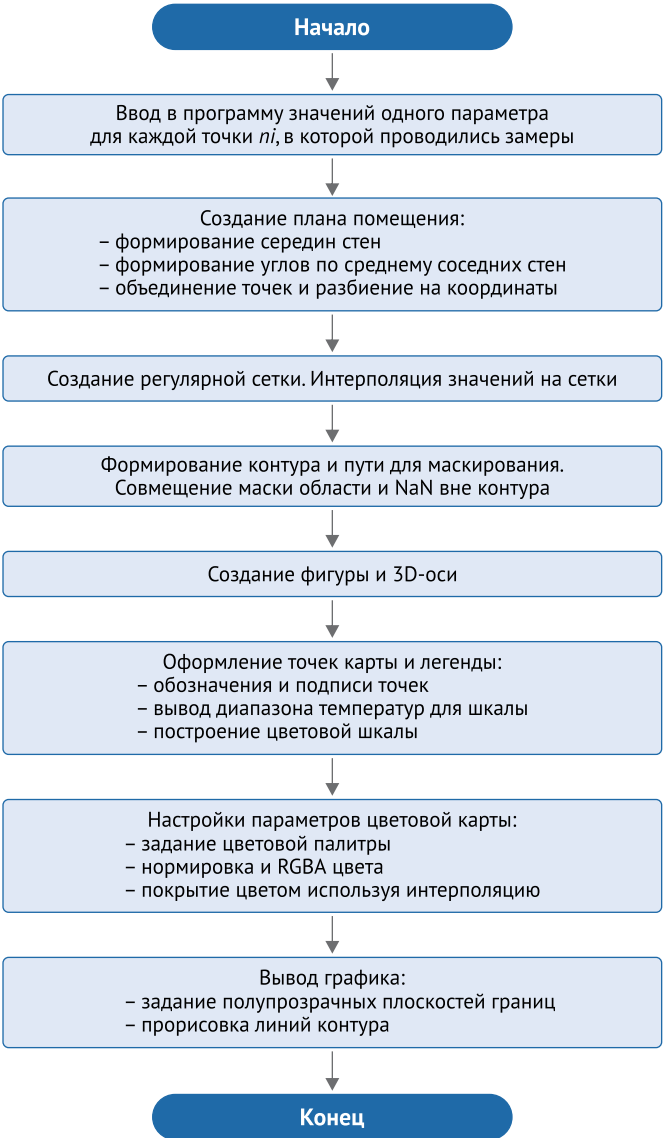


Рис. 3. Алгоритм создания трёхмерной визуализации распределения климатических параметров
Fig. 3. Algorithm creating a three-dimensional visualization of climate parameter distribution

решений, традиций и сценарности ведения служб. Именно поэтому полученные результаты натурных замеров на Петропавловском и Владимирском соборах являются наиболее объективными для формирования знаний о формирующемся микроклимате в основном объёме храма.

Для автоматизированной статистической обработки данных температуры и влажности внутреннего воздуха полученный массив данных размещался в облачном хранилище в табличном формате (Microsoft Excel).

В таблице 1 представлена выборка зарегистрированных в указанный временной период метеоданных, температуры внутренних и наружных поверхностей ограждающих конструкций на высоте 1,5 м от уровня пола и показателей температуры и влажности в интерьере, которые использовались в данной работе для построения теплокарт.

Представление информации в Excel не всегда даёт возможность быстро оценить динамику и понять зависимость изменений показателей в объёме помещения. Для более наглядного представления в виде трёхмерной визуализации температурного распределения на исследуемых соборах была использована авторская программа для ЭВМ на языке Python «ThermalVis of Indoor Environments».

Программа визуализирует температурное распределение в помещении на основе заданных точек измерения, а применение кубической сплайн-интерполяции позволяет получить плавные переходы температуры между точками.

Последовательность действий применительно к процессу подготовки данных и настройки тепловой карты типичны для многих программных комплексов и включает в себя этапы:

1. Сбор и обработка температурных данных из различных точек помещения с помощью массива данных, который импортируется через CSV-формат. (На данном этапе эти данные вводятся в ручном режиме посредством командной строки запроса);
2. Интерполяция данных для создания непрерывного температурного поля методом обратных взвешенных расстояний;
3. Построение трёхмерной модели помещения с отображением температурного распределения (рисунок 4).

Результатом выполнения программы стала визуализация изменений температуры помещения на высоте 1,5 м от уровня пола в виде сплайна с цветовой растяжкой от синего (самой низкой зафиксированной температуры в это время) до красного (самой высокой температуры в это время), что позволило быстро выявить и оценить наиболее характерные зоны и проследить динамику их распределения. Анализируя полученный график на рисунке 4а, можно сделать следующий вывод: исходя из нормативных требований показатели температуры в соборе ниже допустимых значений; наименьшие показатели наблюдаются в северном приделе; в холодный период зона помещения по оси восток – запад будет наиболее тёплой. График на рисунке 4б выполнен для переходного периода: крайние показатели цветовой шкалы соответствуют нормативам; в северном приделе, как и в первом случае, на высоте 1,5 м от уровня пола храма регистрируются самые низкие температуры, однако южный придел для этого годового периода за счёт солнечного облучения через остеклённые дверные проёмы оказывается наиболее тёплым (отопление в храме отсутствует).

Обсуждение

Программа, написанная на Python, позволяет не только провести необходимые вычисления, но и представить результаты в виде трёхмерного графика, где цветовая схема наглядно отображает температурные перепады внутри собора в срезе одного уровня. Надо отметить, что точность интерполяции зависит от количества и расположения исходных точек измерения. Одним из недостатков на данном этапе можно считать то, что программа не учитывает условия возможных динамических изменений температуры, фиксируя значения и делая моментальный скрин, что может быть важно для некоторых задач. В будущем планируется усовершенствовать этот блок, добавив в него не только плоскостное представление распределения параметра, но и распределение по высоте объёма помещения, а также создать возможность ввода нормативных значений и сравнения их с фактическими.

Подводя итог в данной исследовании, можно с уверенностью утверждать, что применение IT-технологий при оценке микроклимата является удобным и многозадачным инструментом, позволяет визуализировать объём полученной информации при исследовании температур-

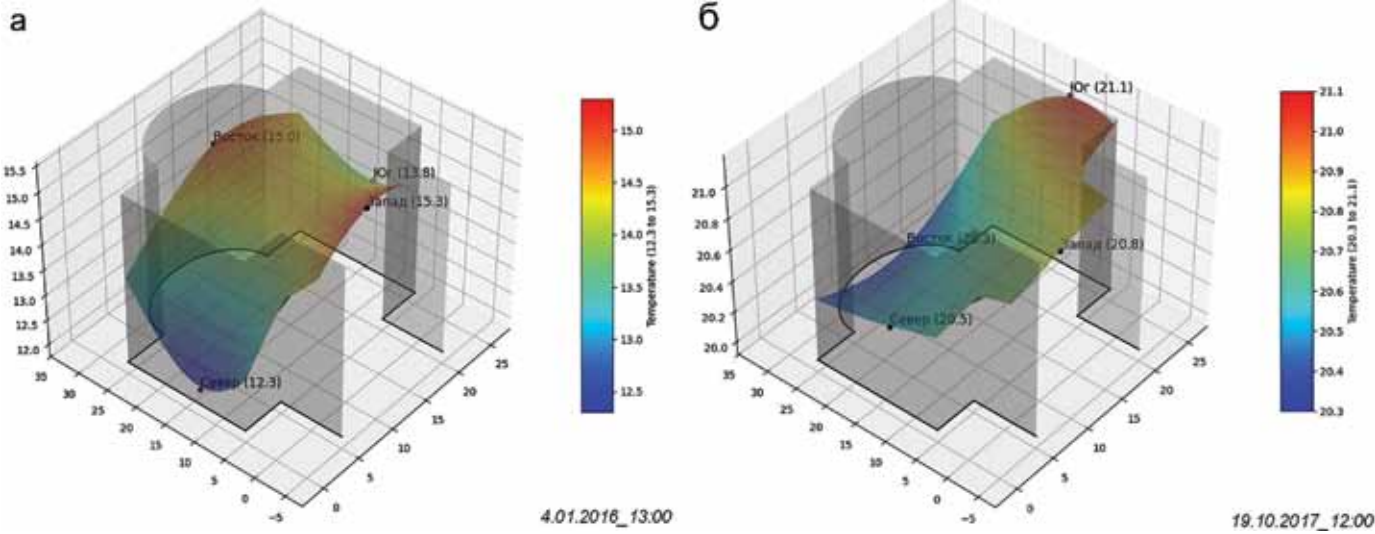


Рис. 4. Трёхмерная модель помещения с отображением температурного распределения:
а) Петропавловский собор; б) Владимирский собор
Fig. 4. 3D room model with temperature distribution visualization
a) Peter and Paul Cathedral; b) St. Vladimir's Cathedral

ных перепадов и распределения температуры в объёме и выявлять зоны теплопотерь и перегрева, что, в свою очередь, поможет оптимизировать системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также предотвратить потенциальные риски утраты предмета охраны.

Заключение

Существующие подходы к визуализации температурных данных не всегда имеют возможность предоставлять информацию определённых параметров внутри объёма одновременно на разных вертикальных и горизонтальных уровнях. Возможности Python и его библиотеки предоставляют инструменты для эффективной обработки и интерполяции данных. Программа визуализирует температурное распределение в помещении на основе заданных точек измерения, а интерполяция позволяет получить плавные переходы температуры между точками. В итоге мы получаем трёхмерную модель, которая даёт наглядное представление о максимальных и минимальных показателях и температурных зонах.

В заключение можно сделать следующие выводы:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов, В. Ф. Наследие православного Крыма. XVIII – середина XX в. Монастыри, монастырские подворья, храмы, часовни : научно-справочное издание [Электронное сетевое издание] / В. Ф. Козлов ; Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия имени Д. С. Лихачёва. – DOI 10.34685/NI.2021.44.61.014. – Москва : Институт Наследия, 2022. – 644 с.
2. Королёв, М. В. Особенности обследования и восстановления зданий православных храмов : монография / М. В. Королёв, Л. И. Черкасова, А. В. Остякова. – 2-е издание. – Москва : НИУ МГСУ, 2016. – 199 с. – (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ / М-во образования и науки Российской Федерации, Нац. исслед. Московский гос. строит. ун-т).
3. Михеева, Ю. Л. Духовный кластер исторического центра г. Симферополя. Проблемы сохранения интерьеров православных зданий и сооружений – объектов культурного наследия / Ю. Л. Михеева, О. И. Сергеева // Дизайн-стратегии на заре рождения нового стиля : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Геническ, 19–21 июня 2024 г. ; Херсонский технический университет. – Санкт-Петербург : Научоёмкие технологии, 2025. – С. 58–60.
4. Тряпкина, Е. А. Особенности микроклимата в помещениях церкви / Е. А. Тряпкина, Г. В. Гордеева // Инновации. Наука. Образование. – 2020. – № 23. – С. 632–639.
5. Особенности технической эксплуатации объектов культурного наследия / К. С. Петров, Е. А. Зоренко, Т. Р. Слепанев, В. А. Пупков, Д. И. Глубоков // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 2 (62). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-tehnicheskoy-ekspluatatsii-obektov-kulturnogo-naslediya> (дата обращения: 28.04.2025).
6. Волкова, Н. Г. О факторах, формирующих влажностный режим зданий / Н. Г. Волкова, Е. Ю. Цешковская // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 1. – С. 106–113. – URL: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-93-1-106-11>.
7. Hiramatsu, N. Koopman mode decomposition of oscillatory temperature field inside a room / N. Hiramatsu, Y. Susuki, A. Ishigame. – DOI <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.102.022210> // Physical Review E. – 2020. – Vol. 102, No. 2. – Art. 022210.
8. CFD results calibration from sparse sensor observations with a case study for indoor thermal map / C. Jiang, Y. C. Soh, H. Li, M. K. Masood, Z. Wei, X. Zhou, D. Zhai // Building and Environment. – 2017. – Vol. 123. – Pp. 86–96.
9. Михеева, Ю. Л. Воздействие климатических факторов на тем-

пературно-влажностный режим ограждающих конструкций православных храмов / Ю. Л. Михеева, В. Н. Алексеенко // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – № 1 (17). – С. 20–28.

10. Михеева, Ю. Л. Влияние различных систем климатизации на формирование микроклимата реставрируемых объектов культурного наследия в Крыму / Ю. Л. Михеева, В. Н. Алексеенко // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 3 (77). – С. 52–62.
11. Михеева, Ю. Л. Результаты исследования температурно-влажностного режима Петропавловского собора в городе Симферополе / Ю. Л. Михеева, В. Н. Алексеенко // Промышленное и гражданское строительство. – Москва. – 2017. –

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kozlov, V. F. Nasledie pravoslavnogo Kryma. XVIII – seredina XX v. Monastyri, monastyrskie podvor'ya, khramy, chasovni : nauchno-spravochnoe izdanie [Ehlektronnoe setevoe izdanie] [The heritage of the Orthodox Crimea. XVIII – mid-twentieth century. Monasteries, monastic courtyards, temples, chapels : a scientific reference publication] [Online electronic publication] / V. F. Kozlov ; Rossijskij nauchno-issledovatel'skij institut kul'turnogo i prirodnogo naslediya imeni D. S. Likhachyova [Russian Scientific Research Institute of Cultural and Natural Heritage named after D. S. Likhachev]. – DOI 10.34685/HI.2021.44.61.014. – Moscow : Institute of Heritage, 2022. – 644 p.
2. Korolev, M. V. Osobennosti obsledovaniya i vosstanovleniya zdaniy pravoslavnykh khramov : monografiya [Features of the survey and restoration of buildings of Orthodox churches: a monograph] / M. V. Korolev, L. I. Cherkasova, A. V. Ostyakova. – 2nd edition. Moscow : NRU MGSU, 2016. – 199 p. – (Biblioteka nauchnykh razrabotok i proektov NIU MGSU / M-vo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federatsii, Nats. issled. Moskovskij gos. stroit. un-t [Library of Scientific Developments and Projects of NRU MGSU / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, National research. Moscow state. builds. university]).
3. Mikheeva, Yu. L. Dukhovnyj klaster istoricheskogo tsentra g. Simferopol'ya. Problemy sokhraneniya inter'erov pravoslavnykh zdaniy i sooruzhenij – ob'ektov kul'turnogo naslediya [The spiritual cluster of the historical center of Simferopol. Problems of preserving the interiors of Orthodox buildings and structures – objects of cultural heritage] / Yu. L. Mikheeva, O. I. Sergeeva // Dizajn-strategii na zare rozhdeniya novogo stilya : sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Genichesk, 19–21 iyunya 2024 g. ; Khersonskij tekhnicheskij universitet [Design strategies at the dawn of the birth of a new style : collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Genichesk, June 19–21, 2024 ; Kherson Technical University]. – Saint Petersburg : Science-intensive Technologies, 2025. – Pp. 58–60.
4. Tryapkina, E. A. Osobennosti mikroklimata v pomeshheniyakh tserkvi [Features of the microclimate in the premises of the church] / E. A. Tryapkina, G. V. Gordeeva // Innovatsii. Nauka. Obrazovanie [Innovation. Science. Education]. – 2020. – No. 23. – Pp. 632–639.
5. Osobennosti tekhnicheskoy ehkspluatatsii ob'ektov kul'turnogo naslediya [Features of technical operation of cultural heritage sites] / K. S. Petrov, E. A. Zorenko, T. R. Slepanev, V. A. Pupkov, D. I. Glubokov // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2020. – No. 2 (62). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-tehnicheskoy-ekspluatatsii-obektov-kulturnogo-naslediya> (date of request: 04/28/2025).

№ 7. – С. 46–51.

12. SciPy documentation : open-source software for mathematics, science, and engineering. Version: 1.15.1. Date: January 10, 2025 : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy> (дата обращения: 15.02.2025).
13. NumPy documentation : software [Электронный ресурс]. – URL: <https://numpy.org/doc> (дата обращения: 15.02.2025).
14. Свидетельство о государственной регистрации № 2025617387, Российская Федерация. Программа для ЭВМ «ThermalVis of Indoor Environments» : заявл. № 2025614929 от 11.03.2025 : опубл. 25.03.2025 / Ю. Л. Михеева, П. О. Михеев, Е. А. Косова.
6. Volkova, N. G. O faktorakh, formiruyushhikh vlazhnostnyj rezhim zdaniy [On the factors forming the humidity regime of buildings] / N. G. Volkova, E. Y. Tshshkovskaya // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. – 2021. – No. 1. – Pp. 106–113. – URL: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-93-1-106-11>.
7. Hiramatsu, N. Koopman mode decomposition of oscillatory temperature field inside a room / N. Hiramatsu, Y. Susuki, A. Ishigame. – DOI <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.102.022210> // Physical Review E. – 2020. – Vol. 102, No. 2. – Art. 022210.
8. CFD results calibration from sparse sensor observations with a case study for indoor thermal map / C. Jiang, Y. C. Soh, H. Li, M. K. Masood, Z. Wei, X. Zhou, D. Zhai // Building and Environment. – 2017. – Vol. 123. – Pp. 86–96.
9. Mikheeva, Yu. L. Vozdejstvie klimaticheskikh faktorov na temperaturno-vlazhnostnyj rezhim ograzhdayushhikh konstruksij pravoslavnykh khramov [The impact of climatic factors on the temperature and humidity regime of enclosing structures of Orthodox churches] / Yu. L. Mikheeva, V. N. Alekseenko // Biosfernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii [Biospheric compatibility: man, region, technology]. – 2017. – No. 1 (17). – Pp. 20–28.
10. Mikheeva, Yu. L. Vliyanie razlichnykh sistem klimatizatsii na formirovanie mikroklimata restavriruemykh ob'ektov kul'turnogo naslediya v Krymu [The influence of various climate control systems on the formation of the microclimate of restored cultural heritage sites in the Crimea] / Yu. L. Mikheeva, V. N. Alekseenko // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. – 2018. – No. 3 (77). – Pp. 52–62.
11. Mikheeva, Yu. L. Rezul'taty issledovaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima Petropavlovskogo sobora v gorode Simferopole [Results of a study of the temperature and humidity regime of the Peter and Paul Cathedral in Simferopol] / Yu. L. Mikheeva, V. N. Alekseenko // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – Moscow. – 2017. – No. 7. – Pp. 46–51.
12. SciPy documentation : open-source software for mathematics, science, and engineering. Version: 1.15.1. Date: January 10, 2025 : [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy> (дата обращения: 15.02.2025).
13. NumPy documentation : software [Электронный ресурс]. – URL: <https://numpy.org/doc> (дата обращения: 15.02.2025).
14. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii № 2025617387, Rossijskaya Federatsiya [Certificate of State Registration No. 2025617387, Russian Federation]. Programma dlya EhVM «ThermalVis of Indoor Environments» : yayavl. № 2025614929 ot 11.03.2025 : opubl. 25.03.2025 [Computer program "ThermalVis of Indoor Environments" : application No. 2025614929 dated 03/11/2025 : published 03/25/2025] / Yu. L. Mikheeva, P. O. Mikheev, E. A. Kosova.

УДК 69.01

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_83

Разработка современных методов и приёмов возведения жилых зданий повышенной этажности

Development of Modern Methods and Techniques for the Construction of High-Rise Residential Buildings

Синенко Сергей Анатольевич

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, sasin50@gmail.com

Sinenko Sergey Anatolyevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, sasin50@gmail.com

Серёгин Алексей Сергеевич

Магистр кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, a.ser.seregin@yandex.ru

Seregin Alexey Sergeevich

Master student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, a.ser.seregin@yandex.ru

Аннотация. Цель. Провести комплексный анализ современных технологий и организационно-управленческих подходов в строительной отрасли, оценить уровень их внедрения в Российской Федерации и определить ключевые тенденции и перспективы цифровой трансформации строительства.

Методы. В исследовании применялись методы системного анализа нормативно-правовой базы, статистических данных Росстата, технической документации (СП, ГОСТ), а также обзора современных публикаций и отчётов отраслевых институтов и ведущих строительных компаний. Проведено сравнение отечественной практики с международным опытом на основе отчётов европейских и азиатских организаций.

Результаты. Установлено, что цифровая трансформация отрасли, включая внедрение информационного моделирования (BIM), роботизацию и использование цифровых двойников, является общемировым трендом. В России этот процесс носит системный характер и поддерживается на государственном уровне, о чём свидетельствует утверждённая Стратегия цифровой трансформации. Выявлен рост применения модульного и круп-

Abstract. Object. To conduct a comprehensive analysis of modern technologies and organizational-managerial approaches in the construction industry, assess the level of their implementation in the Russian Federation, and identify key trends and prospects for the digital transformation of construction.

Methods. The study employed methods of systematic analysis of the regulatory framework, statistical data from Rosstat, technical documentation (SP, GOST), as well as a review of recent publications and reports from industry institutes and leading construction companies. A comparison of domestic practices with international experience was carried out based on reports from European and Asian organizations.

Findings. It was established that the digital transformation of the industry, including the implementation of Building Information Modeling (BIM), robotization, and the use of digital twins, is a global trend. In Russia, this process is systematic and supported at the state level, as evidenced by the approved Digital Transformation Strategy. An increase in the use of modular and large-panel

Введение

Современный этап градостроительной деятельности характеризуется устойчивой тенденцией к увеличению плотности городской застройки. Это обусловлено демо-

нопанельного домостроения с использованием новых материалов и автоматизированной техники. Результаты внедрения BIM-технологий демонстрируют повышение эффективности на всех этапах жизненного цикла объекта.

Выводы. Российская строительная отрасль активно развивается в направлении цифровизации и технологической модернизации, однако существует потребность в дальнейшем развитии нормативной базы, стандартизации процессов и повышении квалификации кадров. Перспективы развития связаны с комплексной интеграцией BIM-технологий, автоматизацией строительных процессов и внедрением принципов бережливого строительства, что в конечном итоге позволит повысить производительность, качество и снизить стоимость возведения объектов.

Ключевые слова: строительная отрасль; цифровая трансформация; информационное моделирование (BIM); модульное строительство; роботизация; нормативная база; бережливое строительство; технологическая модернизация.

housing construction with new materials and automated equipment was identified. The results of BIM technology implementation demonstrate increased efficiency at all stages of the object's life cycle.

Conclusions. The Russian construction industry is actively developing towards digitalization and technological modernization; however, there is a need for further development of the regulatory framework, process standardization, and staff training. Development prospects are associated with the comprehensive integration of BIM technologies, automation of construction processes, and the implementation of lean construction principles, which will ultimately increase productivity, quality, and reduce the cost of construction.

Keywords: construction industry; digital transformation; building information modeling (BIM); modular construction; robotization; regulatory framework; lean construction; technological modernization.

графическими факторами, экономической целесообразностью освоения территорий и стремлением к созданию комфортной городской среды с развитой инфраструктурой. В этих условиях возведение жилых зданий повы-

шенной этажности (от 17 этажей и выше) становится не просто одним из вариантов, а стратегической необходимостью для мегаполисов и крупных агломераций [1].

Однако данный процесс сопряжён с рядом системных вызовов. К ним относятся: моральное и физическое устаревание нормативной базы, не успевающей за скоростью технологического прогресса; высокая сложность координации множества участников проекта; ужесточение требований к энергоэффективности, сейсмостойкости и экологической безопасности объектов. Как следствие, сохраняется существенный разрыв между передовыми научными разработками и их массовым практическим применением, что приводит к неоправданному росту себестоимости и хроническому срыву сроков сдачи объектов [2].

Актуальность разработки и внедрения современных методов и приёмов подтверждается статистикой: доля высотного строительства в общем объёме ввода жилья в России выросла с 8 до 23 % за период с 2015 по 2023 год, при этом средняя этажность зданий увеличилась с 17 до 24 этажей [3]. В подобных условиях традиционные подходы исчерпали свой ресурс, уступив место комплексным технологическим и организационным решениям, синтезирующим достижения материаловедения, цифровизации и передового опыта управления проектами.

Цель данной статьи – провести системный обзор современных методов и приёмов, определить их классификацию, преимущества и ограничения, а также оценить перспективы их внедрения на основе анализа реальных проектов.

Основная часть

Теоретической основой для современных методов возведения высотных зданий служит принцип системного подхода, предполагающий рассмотрение объекта как единого целого на всех этапах его жизненного цикла – от проектирования до эксплуатации. Это находит своё воплощение в концепции информационного моделирования (BIM), где цифровая модель становится центральным звеном, интегрирующим архитектурные, конструктивные, технологические и экономические данные [4].

Классификация методов возведения жилых зданий повышенной этажности может быть проведена по нескольким ключевым признакам.

По типу несущей конструкции. Каркасно-монолитные системы: железобетонный каркас (колонны, ригели, диафрагмы жёсткости) и монолитные перекрытия, возводимые на месте. Это доминирующая технология на российском рынке благодаря своей гибкости, свободе планировки и высокой несущей способности. Сборно-монолитные системы: комбинация сборных элементов (колонны, плиты перекрытия) с монолитными участками (узлы сопряжения, ядра жёсткости). Позволяют ускорить процесс за счёт заводского изготовления элементов. Полносборные системы (модульные): здание собирается из готовых объёмных модулей, произведённых в заводских условиях. Наиболее инновационный и быстроразвивающийся метод [5].

По степени цифровизации процессов: традиционное проектирование (2D-чертежи), BIM-моделирование (3D-модель), цифровые двойники (Digital Twin) для управления эксплуатацией [6].

По уровню механизации и автоматизации: ручной труд (преобладает в отделочных работах), частичная механизация (применение башенных кранов, бетононасосов), комплексная механизация (использование самоподъёмной опалубки), роботизация (роботы-укладчики, сварочные роботы, дроны для мониторинга) [7].

Данная классификация не является жёсткой, и в реальном проекте, как правило, применяется комбинация методов, наиболее полно отвечающая конкретным технико-экономическим условиям.

Несмотря на активное внедрение инноваций, базой для развития современных технологий остаются проверенные временем традиционные методы. К ним относятся монолитное домостроение и крупнопанельное строительство, которые доминировали на рынке в предыдущие десятилетия.

Монолитное домостроение с применением инвентарной опалубки стало значительным шагом вперёд по сравнению с кирпичным строительством. Его ключевые преимущества – возможность создания свободных планировок, высокая пространственная жёсткость конструкций и относительная скорость возведения. Однако эта технология имеет существенные ограничения: высокую долю мокрых процессов, сильную зависимость от погодных условий (особенно в зимний период), значительный объём ручного труда и необходимость сложной организации бетонного хозяйства непосредственно на стройплощадке [8].

Крупнопанельное домостроение, унаследованное от советского периода, характеризуется высокой скоростью монтажа за счёт заводской готовности элементов. Но его недостатки становятся особенно критичными в контексте современных требований: ограниченность архитектурно-планировочных решений, проблемы с теплоизоляцией стыков между панелями (мостики холода), низкий уровень энергоэффективности и акустического комфорта, а также моральное устаревание производственных баз [9].

Оба метода сталкиваются с системными проблемами применительно к высотному строительству. Возведение зданий выше 25 этажей требует специальных решений для обеспечения устойчивости к ветровым и возможным сейсмическим нагрузкам, что сложно реализовать в рамках традиционных панельных технологий. Монолитные технологии, хотя и более адаптивны, требуют усложнения опалубочных систем и методов бетонирования на большой высоте, что значительно увеличивает стоимость и продолжительность работ.

Анализ показывает, что ключевыми ограничениями традиционных методов являются: низкая производительность труда и высокая трудоёмкость, значительные сроки строительства (в среднем 24 месяца для объекта повышенной этажности), высокий процент ручного труда и связанный с этим человеческий фактор, сложность обеспечения стабильного качества работ в условиях стройплощадки, ограниченные возможности для контроля и управления процессом в реальном времени.

Эти ограничения стали катализатором для разработки и внедрения принципиально новых подходов к организации строительного производства.

Современное монолитное строительство кардинально отличается от традиционного благодаря применению инновационных опалубочных систем. Самоподъёмная (пол-

зущая) опалубка позволяет достигать рекордных темпов возведения – до одного этажа в 5-7 дней. Система работает по принципу гидравлического или механического подъёма всей конструкции на следующий ярус после бетонирования предыдущего, что исключает необходимость демонтажа-монтажа и значительно повышает безопасность работ на высоте [10]. Ключевым преимуществом является создание ядра жёсткости – монолитного вертикального стержня здания, включающего лифтовые шахты, лестничные клетки и инженерные коммуникации. Это ядро обеспечивает устойчивость высотного сооружения к ветровым и другим горизонтальным нагрузкам. Технология особенно эффективна при строительстве зданий сложной конфигурации с переменной этажностью [11].

Наиболее революционным направлением является модульное строительство, где до 70–80 % работ переносятся со стройплощадки в заводские условия. Объёмные модули, представляющие собой готовые комнаты или квартиры с выполненной чистовой отделкой и установленным инженерным оборудованием, монтируются на подготовленном каркасе [12]. Среди преимуществ модульного подхода можно выделить следующие: сокращение сроков строительства на 30–50 %, повышение качества за счёт заводских условий производства, снижение зависимости от погодных факторов, минимизация отходов на стройплощадке, возможность демонтажа и повторного использования модулей. В России данная технология находится на стадии активного внедрения – преимущественно в сегментах эконом-класса, общежитий и временного жилья [13].

Информационное моделирование (BIM) стало краеугольным камнем современного строительства. В отличие от традиционного 2D-проектирования, BIM создаёт интеллектуальную трёхмерную модель, содержащую всю информацию об объекте: от архитектурных решений до спецификаций материалов и режимов эксплуатации инженерных систем [14]. Эволюция BIM реализуется через: 4D-моделирование – интеграцию временной составляющей для планирования строительства, 5D-моделирование – добавление стоимостных параметров для управления бюджетом, цифровых двойников – создание виртуальных копий физических объектов для управления жизненным циклом. BIM позволяет выявлять и устранять коллизии между различными системами здания на этапе проектирования, что предотвращает дорогостоящие переделки на стройплощадке. По оценкам экспертов, внедрение BIM снижает затраты на устранение ошибок на 70 % [15].

Современные материалы кардинально меняют характеристики строительных конструкций. Высокопрочные бетоны классов В60–В100 позволяют уменьшить сечение несущих элементов на 20–30 %, что увеличивает полезную площадь зданий и снижает нагрузку на фунда-

мент [16]. Самоуплотняющиеся бетоны не требуют вибрирования при укладке, что повышает качество поверхности и производительность труда. Их применение особенно эффективно в густоармированных конструкциях и при бетонировании в стеснённых условиях [17]. Композитная арматура из стекло- и базальтопластика обладает высокой коррозионной стойкостью и низкой теплопроводностью, что исключает образование мостиков холода [18].

Современные строительные площадки оснащаются комплексом машин и механизмов, работающих по принципу бережливого производства. Среди ключевых элементов можно выделить следующие: автоматизированные крановые системы с программным управлением, обеспечивающие точность позиционирования элементов до 1-2 мм и возможность работы в стеснённых условиях [19]; роботизированные комплексы для выполнения повторяющихся операций (сварочные роботы, роботы для укладки плитки и нанесения штукатурки, машины для раскроя арматуры по BIM-моделям) [20]; беспилотные летательные аппараты (дроны) для мониторинга строительства, обмеров, контроля качества и обеспечения безопасности, дроны с тепловизорами позволяют выявлять дефекты теплоизоляции ограждающих конструкций [21].

Для объективной оценки эффективности методов возведения был проведён сравнительный анализ на примере типового 25-этажного жилого дома общей площадью 15 000 м². Основой для расчётов послужили: нормативные показатели из справочников базовых сметных цен (например, СБЦП 81-01-2001), данные из отчётов ведущих девелоперов (ПИК, «Самолёт»), а также результаты экспертных интервью с руководителями строительных проектов.

Расчёт показателей для каждого метода проводился по следующим принципам:

Сроки строительства: определялись как сумма продолжительностей всех технологических циклов (земляные работы, устройство фундамента, возведение надземной части, отделка). Для традиционного монолита за основу брался нормативный срок в 24 месяца, учитывающий сезонность бетонных работ и ручную координацию. Для современного монолита с самоподъёмной опалубкой применялся коэффициент ускорения 0.7, полученный на основе анализа темпов строительства (1 этаж в 5–7 дней против 10–12 дней по традиционной технологии). Для модульного метода сроки расчёта включали время на заводское производство модулей (параллельно с работами нулевого цикла) и монтаж (3–4 этажа в неделю), что в среднем даёт сокращение на 40–50 %.

Относительная стоимость: оценивалась в процентах к базовой стоимости традиционного монолитного метода (принята за 100 %). Повышение стоимости современного монолита на 5–10 % обусловлено арендой дорогостоящей самоподъёмной опалубки и применением высокопроч-

Метод строительства	Сроки (мес.)	Стоимость (руб./м²)	Трудоёмкость	Оценка
Крупнопанельный	19	55000	13	11
Монолитный (традиц.)	22	65000	15	13
Монолитный (соврем.)	15	68000	9	9
Сборно-монолитный	13	70000	8	8
Модульный	9	72000	5	6

Табл. 1. Сравнительный анализ методов возведения высотных жилых зданий
Tab. 1. Comparative analysis of high-rise residential building construction methods

ных бетонов. Стоимость модульного метода на 10–15 % выше из-за высоких капитальных затрат на заводское производство, однако при серийном строительстве этот разрыв сокращается.

Трудоёмкость: рассчитывалась как совокупные затраты труда в человеко-часах на 1 м² общей площади. Снижение трудоёмкости на 40–50 % для модульного метода обосновано переносом до 80 % работ в заводские условия с высокой степенью механизации. Снижение на 20–30 % для современного монолита достигнуто за счёт применения автоматизированной техники и уменьшения объёма ручного труда при установке опалубки и укладке бетона.

Полученные данные, отражающие усреднённые значения по рынку, сведены в таблицу 1.

Данные показывают, что современные методы обеспечивают сокращение сроков на 30–40 % и снижение трудоёмкости на 40–60 % по сравнению с традиционными подходами. Несмотря на более высокую первоначальную стоимость, они обеспечивают лучшие эксплуатационные характеристики и значительно снижают риски превышения бюджета и сроков.

Критически важным фактором является синергетический эффект от комбинирования методов. Например, применение монолитного каркаса с самоподъёмной опалубкой для ядра жёсткости в сочетании с модульными фасадными решениями и сборными перекрытиями позволяет достичь оптимального баланса между скоростью, стоимостью и качеством.

Внедрение современных методов возведения высотных зданий требует комплексного подхода и трансформации всех бизнес-процессов строительных организаций. Анализ успешных кейсов российских и зарубежных компаний позволяет выделить ключевые факторы эффективной имплементации инноваций.

Зарубежный опыт демонстрирует системный подход к цифровизации строительства. В странах Северной Европы (Финляндия, Швеция) уровень внедрения BIM-технологии достигает 85–90 % от общего объёма строительных работ [22]. Германские строительные компании активно используют принципы бережливого производства, что позволяет сокращать сроки проектов на 25–30 % без увеличения бюджета [23]. В Японии и Сингапуре широко распространено роботизированное строительство, где до 40 % операций выполняется автоматизированными системами [24].

Российская практика характеризуется постепенным, но устойчивым внедрением современных методов. Ключевыми драйверами выступают крупные девелоперские компании (ПИК, ГК «Самолёт», ЛСР), которые инвестируют в создание собственных производственных комплексов и внедрение цифровых технологий [25].

Ярким примером успешной реализации современных методов является строительство жилых домов №№ 13.1, 13.2 в ЖК «Новое Видное». Проект реализован с применением комплексного подхода, включающего: полное информационное моделирование – создание цифрового двойника объекта на всех этапах жизненного цикла, монолитно-каркасную технологию с использованием самоподъёмной опалубки, предварительную заводскую готовность – 65 % конструкций произведено в цеховых условиях, систему бережливого производства – минимизация потерь и оптимизация потоков.

Результаты внедрения показали значительное повышение эффективности [26], причём каждый из внедрённых методов внёс конкретный вклад в итоговые показатели:

Сокращение сроков строительства на 18 % (с 22 до 18 месяцев) было достигнуто, в первую очередь, за счёт применения самоподъёмной опалубки, позволившей вести бетонные работы с темпом 1 этаж в 6 дней, а также за счёт предварительной заводской готовности 65 % конструкций (сборные лестничные марши, сантехкабины), что исключило простои на стройплощадке.

Снижение трудозатрат на 23 % стало прямым следствием комплексной механизации (использование автоматизированных кранов) и снижения объёма мокрых процессов благодаря применению сборных элементов и высококачественных самоуплотняющихся бетонов, не требующих трудоёмкого вибрирования.

Уменьшение количества ошибок и переделок на 70 % является непосредственным результатом применения BIM-технологий. Трёхмерное информационное моделирование позволило выявить и устранить более 200 коллизий (накладок инженерных систем) на стадии проектирования, что предотвратило их дорогостоящее исправление на стройплощадке.

Повышение энергоэффективности зданий на 35 % было обеспечено за счёт использования современных материалов, таких как композитная арматура, исключая мостики холода, и применение усовершенствованных конструктивных решений ограждающих конструкций, оптимизированных с помощью теплотехнического моделирования в BIM-среде.

Таким образом, достигнутые показатели наглядно демонстрируют синергетический эффект от комплексного внедрения современных методов, описанных в статье. Факторы успешного внедрения современных методов в строительных организациях включают: системное обучение персонала – регулярное повышение квалификации по BIM-технологиям и современным методам работы, инвестиции в оборудование – создание парка современной техники и оснастки, партнёрство с научными организациями – внедрение разработок ведущих строительных вузов, цифровая трансформация процессов – автоматизация управленческих и производственных операций.

Внедрение инновационных технологий сопряжено с рядом системных барьеров. Их оценка и выявление путей преодоления являются критически важными для успешной цифровой трансформации строительных компаний. Ключевые барьеры можно классифицировать следующим образом:

Экономические барьеры: высокие первоначальные капиталовложения в закупку специализированного оборудования (роботы, самоподъёмная опалубка), программного обеспечения (BIM-платформы) и переобучение персонала. Для малых и средних компаний эти затраты часто неподъёмны.

Нормативно-правовые барьеры: несовершенство и запоздывание нормативной базы. Многие современные материалы (композитная арматура) и технологии (цифровые двойники) не имеют устоявшихся стандартов (ГОСТ, СП), что повышает риски при экспертизе и сдаче объектов в эксплуатацию.

Метод	Сроки (мес.)	Стоимость (руб./м ²)	Трудоёмкость
Крупнопанельный	19	55000	12,5
Монолитный	15	68000	9,2
Сборно-монолитный	13	70000	8,1
Модульный	9	72000	5,3

Табл. 2. Барьеры внедрения современных методов и пути их преодоления

Tab. 2. Barriers to the implementation of modern methods and ways to overcome them

Кадровые и организационные барьеры: дефицит квалифицированных специалистов, владеющих BIM-технологиями и принципами бережливого строительства. Сопротивление персонала изменениям и консерватизм управленческого звена.

Технологические барьеры: сложность интеграции новых цифровых решений (BIM, IoT) с существующими системами управления предприятием (ERP, CRM). Отсутствие единых стандартов обмена данными между участниками проекта.

Пути преодоления данных барьеров носят комплексный характер и требуют совместных усилий государства, образовательных учреждений и бизнеса. Государственная поддержка в виде субсидий и налоговых льгот на закупку технологий может смягчить экономические барьеры. Актуализация нормативной базы должна вестись параллельно с апробацией новшеств на пилотных проектах. Для решения кадрового вопроса необходимы программы переподготовки в вузах и тесное партнёрство компаний с научными центрами. Снижению технологических барьеров способствует развитие отраслевых стандартов (например, на базе Национального объединения строителей –

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 13 июня 2023 года) : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года. – Москва, 2004.

2. О стратегическом направлении в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года : Распоряжение Правительства РФ от 27.12.2021 № 3883-р / Информационно-правовой портал «Гарант.ру». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403224504> (дата обращения: 01.09.2025).

3. Жилищное строительство в республике Бурятия в январе – марте 2025 года / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по республике Бурятия (Бурятстат) : [электронный ресурс]. – URL: <https://03.rosstat.gov.ru/infographics2022/document/259347> (дата обращения: 01.09.2025).

4. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла : Свод правил СП 333.1325800.2020 : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 928/пр и введён в действие через 6 месяцев со дня издания / Минстрой России. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/16405/> (дата обращения: 01.09.2025).

5. Минстрой России обновил план по развитию технологий модульного строительства / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) : [электронный ресурс]. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-obnovil-plan-po-razvitiyu-tekhnologiy-modulnogo-stroitelstva/> (дата обращения: 01.09.2025).

НОСТРОЙ) и внедрение открытых форматов данных (например, IFC для BIM). Систематизация барьеров и мер по их минимизации представлена в таблице 2.

Заключение

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о необратимости перехода к современным методам возведения жилых зданий повышенной этажности. Интеграция цифровых технологий, инновационных материалов и передовых организационных подходов становится ключевым фактором конкурентоспособности на строительном рынке.

Основные выводы исследования следующие. Современные методы возведения позволяют сократить сроки строительства на 25–40 % и снизить трудоёмкость на 30–50 % по сравнению с традиционными подходами. Наибольшую эффективность демонстрируют гибридные подходы, сочетающие монолитно-каркасные технологии с элементами сборности и модульности. Внедрение BIM-технологий является критически важным для управления сложностью высотного строительства и обеспечения качества работ. Российская строительная отрасль демонстрирует положительную динамику внедрения инноваций, хотя и отстаёт от ведущих стран по уровню цифровизации.

Опыт реализации проектов типа ЖК «Новое Видное» подтверждает, что современные методы возведения жилых зданий повышенной этажности не только технически осуществимы, но и экономически целесообразны. Их широкое внедрение будет способствовать решению актуальных задач урбанизации – созданию комфортной, безопасной и устойчивой городской среды.

6. Цифровой двойник поможет управлять городским хозяйством / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России): [электронный ресурс]. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/tsifrovoy-dvoynik-pomozhet-upravlyat-gorodskim-khozyaystvom/> (дата обращения: 01.09.2025).

7. Recent advancements of robotics in construction / Automation in Construction. – 2022. – Vol. 144. – Art. 104591. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522004617> (дата обращения: 01.09.2025).

8. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 : Свод правил СП 70.13330.2012 : утверждён приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой) от 25 декабря 2012 г. № 109/ГС и введён в действие с 1 июля 2013 г. // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097510> (дата обращения: 01.09.2025).

9. Дубынин, Н. В. От крупнопанельного домостроения XX в. к системе панельно-каркасного домостроения XXI в. / Н. В. Дубынин // Жилищное строительство. – 2015. – № 10. – С. 12–20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ot-krupnopanelnogo-domostroeniya-xx-v-k-sisteme-panelno-karkasnogo-domostroeniya-xxi-v> (дата обращения: 01.09.2025).

10. VARIO. Опалубка стен. Балочно-ригельная опалубка на основе балки и стальных ригелей / PERI : [корпоративный сайт]. – URL: <https://www.peri.ru/products/vario.html#preimushchestva>.

11. Патент на изобретение RU 2246588 C1, Российская Федерация. Способ бетонирования укрупнёнными блоками монолитных конструкций тоннельного типа с поэтапным возведением элементов сверху вниз : заявка от 05.11.2003 : опубл. 20.02.2005 / Г. Д. Бигвава, А. Р. Соловьянчик, А. В. Мо-

розов, С. А. Шифрин ; ОАО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (ОАО ЦНИИС).

12. Трубилина, М. Модульное строительство позволит справиться с дефицитом кадров / М. Трубилина // Российская газета : [электронный ресурс]. – 01.05.2024. – URL: <https://rg.ru/2024/05/01/modulnoe-stroitelstvo-pozvolit-spravitsia-s-deficitom-kadrov.html> (дата обращения: 01.09.2025).

13. Велесевич, С. Дом-конструктор: зачем застройщики запускают производство модульных домов / С. Велесевич // РБК Недвижимость: [электронный ресурс]. – 15.09.2023. – URL: <https://realty.rbc.ru/news/65041ce49a79474b6a69951a> (дата обращения: 01.09.2025).

14. Об утверждении Методики определения стоимости работ по подготовке проектной документации, содержащей материалы в форме информационной модели : Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. № 854/пр : зарегистрирован в Минюсте РФ 25 февраля 2021 г. № 62609 : вступает в силу с 9 марта 2021 г., изменения вступают в силу с 23 декабря 2022 г. / Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru). – 6 февраля 2021 г. – № 0001202102260021. – URL: <https://base.garant.ru/400375659> (дата обращения: 01.09.2025).

15. Нормативно-техническое регулирование : перечень действующих документов, регулирующих информационное моделирование в строительстве / Национальное объединение проектировщиков и изыскателей (НОПРИЗ) : [электронный ресурс]. – URL: https://www.nopriz.ru/ndocs/technical_regulation/deystvuyushchie-normativno-tekhnicheskie-dokumenty/?special_version=Y (дата обращения: 01.09.2025).

16. Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия : Межгосударственный стандарт ГОСТ 26633-2015 : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по протоколу от 10 декабря 2015 г. № 48 : введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 марта 2016 г. № 165-ст с 1 сентября 2016 г. / Росстандарт. – Москва : Стандартинформ, 2019.

17. Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Технические условия : Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59714-2021 : утверждён и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 декабря 2021 г. № 1822-ст / Технический комитет по стандартизации ТК 465 «Стро-

ительство». – Москва : Российский институт стандартизации, 2021.

18. Перспективы использования композитной арматуры в строительстве / Г. Э. Окольников, С. В. Герасимов // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 14–21. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-kompozitnoy-armatury-v-stroitelstve> (дата обращения: 01.09.2025).

19. Liebherr Connect – Connecting people, cranes, and digital environment / LIEBHERR : [website]. – URL: <https://www.liebherr.com/ru-ru/n/liebherr-connect-connecting-people-cranes-and-digital-environment-165760-3789692> (дата обращения: 01.09.2025).

20. Construction robots. Here come the builder bots / Leonard (VINCI) : [website]. – URL: <https://leonard.vinci.com/wp-content/uploads/2024/12/Robots-in-Construction-1.pdf> (дата обращения: 01.09.2025).

21. БПЛА для строительства: использование беспилотников, мониторинг строительства с воздуха / ГК «Геоскан» : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/application/construction> (дата обращения: 01.09.2025).

22. Digitalisation in the construction sector : Analytical Report / European Construction Sector Observatory (ECSO), European Commission : [website]. – URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547/attachments/1/translations/en/renditions/pdf> (дата обращения: 01.09.2025).

23. Lean Design & Construction Research Papers / Lean Construction Institute : [website]. – URL: <https://leanconstruction.org/resources/lci-research/> (дата обращения: 01.09.2025).

24. Better Built Environment for All: Transforming the way we build : Annual report 2023/24 / Building and Construction Authority (BCA), Singapore : [electronic resource]. – URL: <https://www1.bca.gov.sg/docs/default-source/docs-corp-news-and-publications/annual-reports/bca-ar-2024.pdf> (дата обращения: 01.09.2025).

25. Зачем девелоперам цифровая зрелость / РБК Отрасли : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/industries/news/66825be99a7947941d0a390a> (дата обращения: 01.09.2025).

26. Ход строительства жилого комплекса «Green Park» (онлайн-отчёт/прогресс проекта) / Группа компаний ПИК : [электронный ресурс]. – URL: <https://www.pik.ru/gp/progress/live> (дата обращения: 01.09.2025).

09/01/2025).

4. SP 333.1325800.2020 «Informacionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informacionnoj modeli ob'ektov na razlichnyh stadiyah zhiznennogo cikla» [Set of Rules 333.1325800.2020 "Information modeling in construction. Rules for the formation of an information model of objects at various stages of the life cycle"] // Minstroy Rossii. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/16405> (date of access: 01.09.2025).

5. Minstroy Rossii obnovil plan po razvitiyu tekhnologij modul'nogo stroitel'stva [The Ministry of Construction of Russia has updated the plan for the development of modular construction technologies] / Ministerstvo stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozayajstva Rossijskoj Federatsii (Minstroy Rossii) [Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia)] : [electronic resource]. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-obnovil-plan-porazvitiyu-tekhnologiy-modulnogo-stroitelstva-> / (date of access: 09/01/2025).

6. Tsifrovoy dvojn timer pomozhet upravlyat' gorodskim khozayajstvom [A digital twin will help manage the urban economy] / Ministerstvo stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozayajstva Rossijskoj Federatsii (Minstroy Rossii) [Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia)] : [electronic resource]. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/minstroy-rossii-obnovil-plan-porazvitiyu-tekhnologiy-modulnogo-stroitelstva-> / (date of access: 09/01/2025).

7. Recent advancements of robotics in construction / Automation in Construction. – 2022. – Vol. 144. – Art. 104591. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522004617> (date of access: 01.09.2025).

8. SP 70.13330.2012 «Nesushchie i ogradhdayushchie konstrukcii. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 3.03.01-87» [Set of Rules 70.13330.2012 "Load-bearing and enclosing structures. Updated edition of SNiP 3.03.01-87"]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095576> (date of access: 01.09.2025).

9. Dubynin, N. V. Ot krupnopanel'nogo domostroeniya XX v. k sisteme panel'no-karkasnogo domostroeniya XXI v. [From large-panel housing construction of the XX century to the system of panel-frame housing construction of the XXI century] / N. V. Dubynin // Zhilishhnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2015. – № 10. – Pp. 12-20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ot-krupnopanel'nogo-domostroeniya-xx-v-k-sisteme-panel'no-karkasnogo-domostroeniya-xxi-v> (date of access: 09/01/2025).

10. VARIO. Опалубка стен. Балочно-ригельная опалубка на основе балки и стальных ригелей / PERI : [корпоративный сайт]. – URL: <https://www.peri.ru/products/vario.html#preimushchestva>.

11. Patent na izobretenie RU 2246588 C1, Rossijskaya Federatsiya. Sposob betonirovaniya ukрупnyonnymi blokami monolitnykh konstruksij tonnel'nogo tipa s poehtapnym vozvedeniem ehlementov sverkhu v niz [Patent for invention RU 2246588 C1, Russian Federation. Method of concreting monolithic tunnel-type structures with consolidated blocks with phased construction of elements from top to bottom] : zayavka ot 05.11.2003 : opubl. 20.02.2005 [application dated 05.11.2003 : published 20.02.2005] / G. D. Bigvava, A. R. Solovyanchik, A. V. Morozov, S. A. Shifrin ; ОАО «Nauchno-issledovatel'skij institut transportnogo stroitel'stva» (ОАО ТSNIIS) [JSC Scientific Research Institute of Transport Construction (JSC TSNIIS)].

12. Trublina, M. Modul'noe stroitel'stvo pozvolit spravit'sya s defitsitom kadrov [Modular construction will help to cope with the shortage of personnel] / M. Trublina // Rossijskaya gazeta [Rossiyskaya gazeta] : [electronic resource]. – 05/01/2024. – URL: <https://rg.ru/2024/05/01/modulnoe-stroitelstvo-pozvolit-spravitsia-s-deficitom-kadrov.html> (date of access: 09/01/2025).

13. Velesevizh, S. Dom-konstruktor: zachem zastroyshhiki zapuskayut proizvodstvo modul'nykh domov [Construction house: why developers are launching the production of modular houses] / S. Velesevizh // RBK Nedvizhimost' [RBC Real Estate] : [electronic resource]. – 09/15/2023. – URL: <https://realty.rbc.ru/news/65041ce49a79474b6a69951a> (date of access: 09/01/2025).

14. Prikaz Minstroya Rossii ot 24.12.2020 № 854/pr «Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya stoimosti rabot po podgotovke proektnoj dokumentacii, sodержashchej materialy v forme informacionnoj modeli» [Order of the Ministry of Construction of Russia dated 24.12.2020 No. 854/pr "On approval of the Methodology for determining the cost of work on the preparation of project documentation containing materials in the form of an information model"]. – URL: <https://base.garant.ru/400375659> (date of access: 01.09.2025).

15. Normativno-tekhnicheskoe regulirovanie : perechen' deystvuyushchikh dokumentov, reguliruyushchikh informatsionnoe modelirovanie v stroitel'stve [Regulatory and technical regulation : a list of current documents regulating information modeling in construction] / Natsional'noe ob'edinenie proektirovshhikov i izyskatelej (NOPRIZ) [National Association of Designers and Prospectors (NOPRIZ)] : [electronic resource]. – URL: https://www.nopriz.ru/ndocs/technical_regulation/deystvuyushchie-normativno-tekhnicheskie-dokumenty/?special_version=Y (date of access: 09/01/2025).

16. GOST 26633-2015 «Betony tyazhelye i melkozernistye. Tekhnicheskie usloviya» [GOST 26633-2015 "Heavy-weight and fine-grained concretes. Specifications"]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124395> (date of access: 01.09.2025).

17. Tekhnicheskij reglament na samouplotnyayushchiesya betony [Technical regulations for self-compacting concretes] / NIIZhB. – URL: <https://niizhb.ru/research/scc/> (date of access: 01.09.2025).

18. Perspektivy ispol'zovaniya kompozitnoj armatury v stroitel'stve [Prospects of using composite reinforcement in construction] / G. E. Okolnikova, S. V. Gerasimov // Ehkologiya i stroitel'stvo [Ecology and Construction]. – 2015. – No. 3. – Pp. 14–21. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-kompozitnoy-armatury-v-stroitelstve> (date of access: 09/01/2025).

19. Liebherr Connect – Connecting people, cranes, and digital environment / LIEBHERR : [website]. – URL: <https://www.liebherr.com/ru-ru/n/liebherr-connect-connecting-people-cranes-and-digital-environment-165760-3789692> (date of access: 01.09.2025).

20. Construction robots. Here come the builder bots / Leonard (VINCI) : [website]. – URL: <https://leonard.vinci.com/wp-content/uploads/2024/12/Robots-in-Construction-1.pdf> (date of access: 01.09.2025).

21. BPLA dlya stroitel'stve: ispol'zovanie bespilotnikov, monitoring stroitel'stva s vozdukh [UAVs for construction: the use of drones, monitoring of construction from the air] / GK «Geoskan» [GC "Geoscan"] : [electronic resource]. – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/application/construction> (date of access: 09/01/2025).

22. Digitalisation in the construction sector : Analytical Report / European Construction Sector Observatory (ECSO), European Commission : [website]. – URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547/attachments/1/translations/en/renditions/pdf> (date of access: 01.09.2025).

23. Lean Design & Construction Research Papers / Lean Construction Institute : [website]. – URL: <https://leanconstruction.org/resources/lci-research/> (date of access: 01.09.2025).

24. Better Built Environment for All: Transforming the way we build : Annual report 2023/24 / Building and Construction Authority (BCA), Singapore : [electronic resource]. – URL: <https://www1.bca.gov.sg/docs/default-source/docs-corp-news-and-publications/annual-reports/bca-ar-2024.pdf> (date of access: 01.09.2025).

25. Zachem developeram tsifrovaya zrelost' [Why developers need digital maturity] / RBK Otrastli [RBC Industries] : [electronic resource]. – URL: <https://www.rbc.ru/industries/news/66825be99a7947941d0a390a> (date of access: 09/01/2025).

26. Khod stroitel'stva zhilogo kompleksa «Green Park» (onlajn-otchyot/progress proekta) [Progress of construction of the residential complex "Green Park" (online report/project progress)] / Gruppa kompanij PIK [PIK Group of Companies] : [electronic resource]. – URL: <https://www.pik.ru/gp/progress/live> (date of access: 09/01/2025).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Цифровая модель технологии сварки при устройстве гидроизоляции с применением полимерных мембран

Digital Model of Welding Technology for Waterproofing Using Polymer Membranes

Давлетшин Эльвир Гайсович

Аспирант кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ),
Россия, 450064, Уфа, улица Космонавтов, 8, eldevil@yandex.ru

Davletshin Elvir Gaisovich

Postgraduate Student of the Department of Roads, Bridges, and Transport Facilities, Ufa State Petroleum Technological University (UGNTU), Russia, 450064, Ufa, ulitsa Kosmonavtov, 8, eldevil@yandex.ru

Аннотация. Несмотря на значительные успехи в области разработки и внедрения полимерных мембран, сохраняются технологические вызовы, связанные с выполнением ручных операций и настройкой оборудования для укладки мембран. В статье исследуется технология устройства гидроизоляции с применением полимерных мембран. Целью исследования является разработка расчёта оптимальных технологических параметров сварки при устройстве гидроизоляции подземной части зданий и сооружений с применением полимерных мембран.

Для решения заявленной задачи построена математическая модель определения оптимальных параметров сварки при устройстве гидроизоляции на основе статистических методов, определена методология математического планирования и обработки результатов эксперимента. Модель позволяет оценить

влияние технологических факторов на параметры сварки и прогнозировать результаты в зависимости от начальных задаваемых условий. Результаты работы показывают целесообразность применения статистических методов организации и обработки результатов эксперимента, математического моделирования и аналитической оптимизации получаемых результатов для решения технологических задач. Использование цифровых методов позволяет значительно повысить надёжность получения результатов в процессе и при обработке данных эксперимента, использовать статистические методики для оценки достоверности моделей и значимости влияний факторов.

Ключевые слова: гидроизоляция; полимерные мембраны; математические принципы планирования; эксперимент; статистические методы; цифровая модель.

predict the results depending on the initial conditions. The results of the work show the feasibility of using statistical methods for organizing and processing experimental results, mathematical modeling, and analytical optimization of the results obtained to solve technological problems. The use of digital methods significantly increases the reliability of obtaining results during the experiment and data processing, and allows the use of statistical methods to assess the validity of models and the significance of factor influences.

Keywords: waterproofing; polymer membranes; mathematical principles of planning; experiment; statistical methods; the digital model.

полимерные мембраны – благодаря их высокой эффективности и соответствию современным строительным стандартам.

Доля рынка полимерных мембран демонстрирует значительный рост в последние годы, что обусловлено рядом факторов, влияющих на строительную отрасль и проектирование зданий. Полимерные мембраны, используемые в качестве гидроизоляционных материалов, предлагают множество преимуществ, таких как высокая прочность, устойчивость к воздействию внешней среды, лёгкость в применении, а также долгий срок службы [4].

Несмотря на значительные успехи в области разработки и внедрения полимерных мембран, сохраняются технологические вызовы, связанные с выполнением ручных операций и настройкой оборудования для укладки мембран. Это существенно увеличивает затраты на производство работ и может привести к браку вследствие человеческих ошибок. На данный момент процесс монтажа полимерных мембран в значительной степени базируется на эмпирическом подходе и навыках монтажника, что неизбежно влечёт за собой определённые отклонения от оптимальных характеристик результатов труда [5; 6].

Задача повышения эффективности и надёжности соединений полимерных мембран требует глубокой теоретической проработки и внедрения практических инструментов автоматизации. Это позволит перейти от эмпирического подхода к точным и предсказуемым алгоритмам работы, минимизируя человеческий фактор и обеспечивая стабильность качественных и количественных характеристик технологии устройства гидроизоляции из полимерных мембран.

Из всех основных последовательных этапов устройства гидроизоляции подземной части зданий с применением полимерных мембран сварка полимерных мембран является ключевым этапом, определяющим герметичность и эксплуатационные свойства гидроизоляции, особенно в сложных инженерных объектах. Настройка сварочного оборудования для полимерных мембран включает в себя целый спектр технических операций, которые зависят от ряда факторов внешней среды и характеристик используемых материалов. Прежде всего, такие параметры, как температура воздуха, влажность и скорость ветра, оказывают существенное влияние на выбор температуры сварочного аппарата, прижимного усилия и скорости подачи материала под сопло сварочного устройства.

Проработка требований отечественных нормативно-технических документов и зарубежных требований к гидроизоляции подземной части зданий с применением полимерных мембран показывает, что в них содержатся общие указания на методы сварки и отсутствует полноценный и детализированный регламент, касающийся подбора рационального и оптимального режима сварки. Это является актуальной проблемой. Добавление в нормативные документы чётких рекомендаций по настройке параметров сварки может значительно упростить процесс проведения работ, значительно уменьшить продолжительность сварочных работ и повысить их качество.

Материалы и методы

Оптимизация технологических процессов предполагает использование современных методологий для исследования процесса посредством проведения и обработки экспериментов. Для эффективного проведения эксперимента необходимо использовать математические принципы планирования эксперимента, основанные на определении оптимального и достаточного числа испытаний и условий, при которых они должны быть проведены [7; 8; 9].

Целью разработки математической модели технологического процесса сварки полимерных мембран является подбор оптимальных параметров сварки в зависимости от таких факторов процесса, как температура окружающего воздуха, толщина свариваемой мембраны и температура горячего воздуха.

В статье рассматривается влияние двух факторов на параметр оптимизации, поэтому целесообразно проведение двухфакторного дисперсионного анализа для выявления влияния двух различных переменных факторов на функцию отклика. Двухфакторный дисперсионный анализ позволяет установить значимость влияния каждого из двух изучаемых факторов на исследуемую функцию. С этой целью производится сравнительный анализ вклада каждого фактора в суммарную дисперсию функции отклика y_i . Значимость влияния каждого фактора в количественной форме оценивается путём сопоставления соотношения

вклада каждого фактора и случайной составляющей дисперсии функции отклика с соответствующим критическим значением критерия Фишера.

Корреляционный анализ позволяет выявить наличие и оценить степень взаимной связи между факторами, определяющими процессы формирования оптимальных параметров технологии сварки.

Проверка гипотез о связях между переменными факторами на практике осуществляется путём обработки статистических данных с помощью коэффициентов корреляции. Коэффициент корреляции является математической мерой статистической связи двух исследуемых случайных величин.

Корреляционный анализ предусматривает проведение процедуры сравнения коэффициентов корреляции пар переменных факторов с целью выявления статистических взаимосвязей между ними. В случае если сравнительный анализ показывает, что изменение значений факторов A и B происходит одновременно и пропорционально, гипотеза о наличии корреляции между этими факторами подтверждается.

Для исследования влияния изучаемых факторов на изменение функции отклика применяется регрессионный анализ как один из наиболее распространённых статистических методов исследования [10; 11].

Методы регрессионного анализа позволяют построить математические модели и оценить адекватность процессов определения оптимальных параметров технологии. Регрессионное уравнение описывает характер изменения функции отклика y при изменении значений переменных изучаемых факторов x_i :

$$y(x)=f(x_1, x_2,..., x_n), \quad (1)$$

где $y(x)$ – функция отклика (их может быть несколько, но в качестве параметра оптимизации всегда принимается одна);

x_i – независимые переменные (варьируемые факторы) – их может быть несколько (от 2 до 12 и более).

Основной задачей регрессионного анализа является формирование математической модели, обеспечивающей возможность получения оценок значений исследуемой функции отклика по результатам статистического анализа независимых показателей – значений изучаемых факторов. При проведении регрессионного анализа используются как линейные, так и нелинейные модели.

Формирование уравнения регрессии производится с помощью метода наименьших квадратов, путём минимизации суммы квадратов отклонений экспериментально полученных значений функции отклика от расчётных значений. Для решения задач регрессионного анализа применяются программные продукты «Регрессия», графические опции MS Excel и программа Statistica.

Построение цифровой модели технологического процесса сварки полимерных мембран

При возведении зданий и сооружений для гидроизоляции подземных частей с применением полимерных мембран используются в основном две толщины – 1,5 и 2 мм. По существующей методике значения температуры и скорости движения сварочного аппарата не конкретизируются. Подбор и регулирование этих параметров осуществляется лишь по качественным показателям методом сварки пробных стыков, что значительно увеличивает трудоёмкость и продолжительность выполнения

Наименование фактора	Символ, X_i	Среднее значение фактора, $\bar{X}_i$	Интервал варьирования, ΔX_i	Значение фактора на уровнях	
				-1	+1
Температура среды, °C	X_1	25	20	5	45
Температура сварки, °C	X_2	540	20	520	560

Табл. 1. Условия проведения эксперимента (по блоку 1)
Tab. 1. Experimental conditions (for block 1)

№ опыта	Матрица эксперимента		Скорость сварки, м/мин, при толщине мембраны, мм	
	X_1	X_2	1,5	2,0
1	+	+	2,8	2,6
2	-	+	2,0	2,0
3	+	-	2,3	2,2
4	-	-	1,5	1,3
5	+1,23	0	2,6	2,5
6	-1,23	0	1,8	1,6
7	0	+1,23	2,7	2,4
8	0	-1,23	2,0	1,8
9	0	0	2,2	2,1

Табл. 2. Матрица эксперимента и его результатов (по блоку 1)
Tab. 2. Matrix of the experiment and its results (for block 1)

работ. Подбор параметров сварки осуществляется в зависимости от таких факторов процесса, как температура окружающего воздуха, толщина свариваемой мембраны и температура горячего воздуха.

Планирование и проведение эксперимента имеет целью подбор и фиксацию скорости движения сварочного аппарата в зависимости от температуры окружающей среды или изолируемой поверхности и значений температуры горячего воздуха с последующей интеграцией в настройки сварочного аппарата этого значения и автоматического применения их перед началом сварки.

В процессе обработки экспериментальных результатов в программе Statistika осуществляется проверка значимости коэффициентов (доверительный интервал определяется по критерию Стьюдента и дисперсии параллельных опытов). Затем проверка адекватности уравнения регрессии (осуществляется по критерию Фишера), и далее результаты оцениваются в контрольных сериях эксперимента.

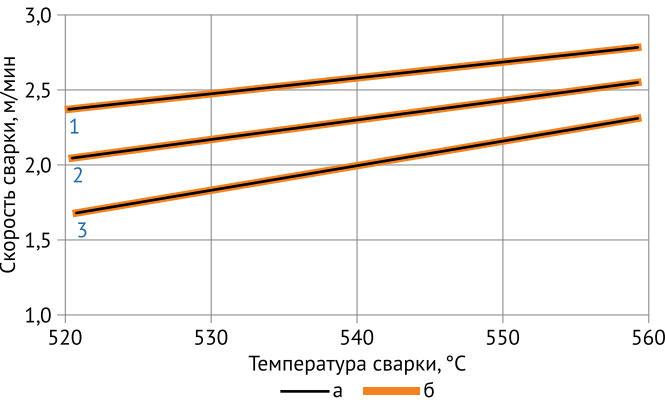


Рис. 1. График зависимости скорости сварки от температуры сварки (толщина ПВХ-мембраны 1,5 мм) при температуре окружающей среды: 1 – 45 °C; 2 – 25 °C; 3 – 5 °C; а) математическое ожидание результата; б) дисперсия значений результата
Fig. 1. Graph of the dependence of the welding speed on the welding temperature (PVC membrane thickness of 1.5 mm) at ambient temperature: 1 – 45 °C; 2 – 25 °C; 3 – 5 °C; а) mathematical expectation of the result; б) variance of the result values

Полученные статистические полиномы после подтверждения их адекватности рассматриваются как алгебраические функции двух переменных. Графическая интерпретация этих функций (полиномы) осуществляется с учётом точности предсказания результатов 95 % (статистическая ошибка характеризуется дисперсией результата относительно математического ожидания и составляет 5 %). Графики строятся в координатах (Y – по оси ординат и X_2 по оси абсцисс с параметром X_1).

Блок 1. Сварка в летних условиях (летний тип мембраны, S)

Условия эксперимента по блоку 1 представлены в таблице 1.

Матрица эксперимента представлена в таблице 2, а результаты – в столбце 3 таблицы 2.

В результате обработки данных в программе Statistika и проверки статистических гипотез получены уравнения регрессии (2 и 3).

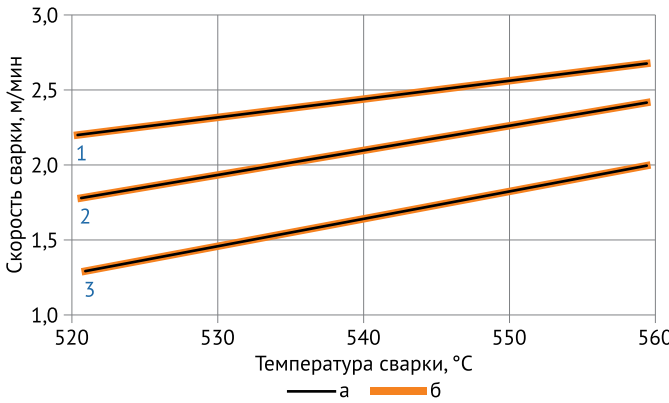


Рис. 2. График зависимости скорости сварки от температуры сварки (толщина ПВХ-мембраны 2 мм) при температуре окружающей среды: 1 – 45 °C; 2 – 25 °C; 3 – 5 °C; а) математическое ожидание результата; б) дисперсия значений результата
Fig. 2. Graph of the dependence of the welding speed on the welding temperature (PVC membrane thickness of 2 mm) at ambient temperature: 1 – 45 °C; 2 – 25 °C; 3 – 5 °C; а) mathematical expectation of the result; б) variance of the result values

№ Опыта	Температура, °C		Скорость сварки, м/мин, при толщине мембраны, мм					
	Окружающей среды	Сварки	1,5			2,0		
			Y_1	v_1	Δ_1	Y_2	v_2	Δ_2
1	5	550	2,19	2,17	0,9	1,94	1,96	1,0
2	5	540	1,89	1,88	1,1	1,64	1,63	0,7
3	5	530	1,59	1,56	1,9	1,34	1,31	2,2
4	45	550	2,87	2,88	1,1	2,56	2,58	0,8
5	45	540	2,61	2,64	1,2	2,38	2,40	0,8
6	45	530	2,45	2,47	0,8	2,22	2,25	1,4
				Δcp_1	1,17 %		Δcp_2	1,15 %

Табл. 3. Проверка достоверности результатов (по блоку 1)
Tab. 3. Verifying the validity of the results (for block 1)

Наименование фактора	Символ, X_i	Среднее значение фактора, $\bar{X}_i$	Интервал варьирования, ΔX_i	Значение фактора на уровнях	
				-1	+1
Температура среды, °C	X_1	0	15	-15	+15
Температура сварки, °C	X_2	545	15	530	560

Табл. 4. Условия проведения эксперимента (по блоку 2)
Tab. 4. Experimental conditions (for block 2)

Толщина полимерной мембраны 1,5 мм (доверительный интервал $\Delta b_1 = 0,07$ м/мин)

$$Y_1 = 2,36 + 0,36X_1 + 0,26X_2 - 0,1X_1 - 0,11X_1^2. \quad (2)$$

Графическая интерпретация полинома (2) с построением функции с параметром (X_1) $Y_1 = f_1(X_2, X_1)$ представлена на рисунке 1 и иллюстрирует собой цифровую модель в виде номограммы, с помощью которой можно решить задачу определения оптимальной скорости сварки в зависимости от температуры окружающей среды и температуры сварки.

Толщина ПВХ-мембраны 2,0 мм (доверительный интервал $\Delta b_2 = 0,06$ м/мин)

Условия эксперимента по блоку 1 представлены в таблице 1. Матрица эксперимента представлена в таблице 2, а результаты – в столбце 3 таблицы 2.

$$Y_2 = 2,11 + 0,37X_1 + 0,26X_2 - 0,01X_1X_2 - 0,10X_1^2. \quad (3)$$

Графическая интерпретация полинома (3) построением функции с параметром (X_1) $Y_2 = f_2(X_2, X_1)$ представлена на рисунке 2.

Проверка достоверности результатов по блоку 1 осуществляется в проведении контрольных серий экспериментов по задаваемым условиям и получении экспериментальных значений скоростей сварки (v_1 и v_2); в получении расчётных значений для скоростей сварки (Y_1 и Y_2) и определении расхождения (Δ_1 и Δ_2) между расчётными и экспериментальными значениями (таблица 3).

Среднее значение расхождения Δ_{cp} определяется как среднее арифметическое значение по 6 опытам. Установлено, что ошибка экспериментов по блоку 1 (среднее расхождение) не превышает 1,2 % с интервалом разброса ошибок (дисперсией) от 0,7 до 2,2 %.

Блок 2. Сварка в зимних условиях (зимний тип мембраны, W)

Условия эксперимента по блоку 2 представлены в таблице 4.

Матрица эксперимента представлена в таблице 5, а результаты – в столбце 3 таблицы 5.

В результате обработки данных в программе Statistika и проверки статистических гипотез получены следующие уравнения регрессии (4 и 5).

Толщина ПВХ-мембраны 1,5 мм (доверительный интервал $\Delta b_3 = 0,05$ м/мин)

$$Y_3 = 1,64 + 0,2X_1 + 0,14X_2 - 0,09X_1X_2 - 0,07X_1^2. \quad (4)$$

Графическая интерпретация полинома (4) построением функции с параметром (X_1) $Y_3 = f_3(X_2, X_1)$ представлена на рисунке 3.

Толщина ПВХ-мембраны 2,0 мм (доверительный интервал $\Delta b_4 = 0,02$ м/мин)

$$Y_4 = 1,44 + 0,22X_1 + 0,12X_2 - 0,06X_1X_2 - 0,04X_1^2. \quad (5)$$

Графическая интерпретация полинома (5) построением функции с параметром (X_1) $Y_4 = f_4(X_2, X_1)$ представлена на рисунке 4.

Проверка достоверности результатов по блоку 2 осуществляется в проведении контрольных серий экс-

№ опыта	Матрица эксперимента		Скорость сварки, м/мин, при толщине мембраны, мм	
	X_1	X_2	1,5	2,0
1	+	+	1,9	1,7
2	-	+	1,5	1,4
3	+	-	1,8	1,6
4	-	-	1,2	1,0
5	+1,23	0	1,8	1,6
6	-1,23	0	1,2	1,1
7	0	+1,23	1,8	1,5
8	0	-1,23	1,5	1,3
9	0	0	1,6	1,5

Табл. 5. Матрица эксперимента и его результаты (по блоку 2)
Tab. 5. Matrix of the experiment and its results (for block 2)

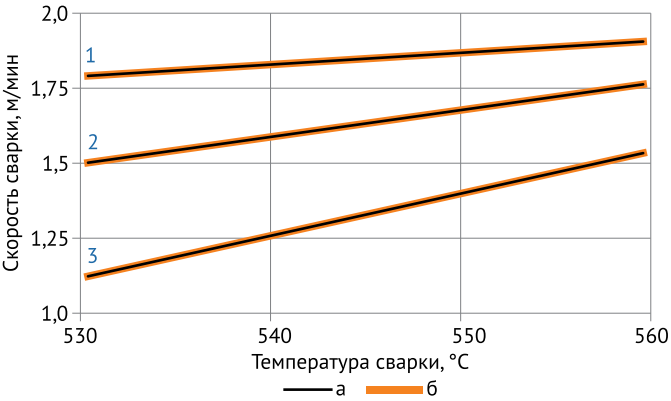


Рис. 3. График зависимости скорости сварки от температуры сварки (толщина ПВХ-мембраны 1,5 мм) при температуре окружающей среды: 1 – плюс 15 °С; 2 – 0 °С; 3 – минус 15 °С; а) математическое ожидание результата; б) дисперсия значений результата

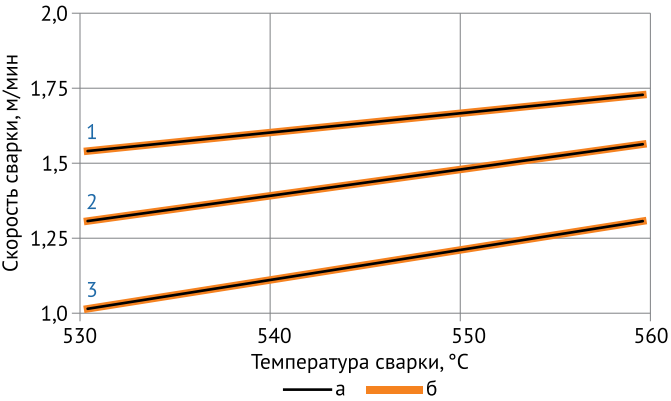


Рис. 4. График зависимости скорости сварки от температуры сварки (толщина ПВХ-мембраны 2 мм) при температуре окружающей среды: 1 – плюс 15 °С; 2 – 0 °С; 3 – минус 15 °С; а) математическое ожидание результата; б) дисперсия значений результата

№ Опыта	Температура, °С		Скорость сварки, м/мин, при толщине мембраны, мм					
	Окружающей среды	Сварки	1,5			2,0		
			U_3	v_3	Δ_3	U_4	v_4	Δ_4
1	-15	550	1,52	1,50	1,3	1,34	1,32	1,5
2	-15	540	1,20	1,21	0,8	1,02	1,00	1,8
3	0	550	1,77	1,75	1,1	1,55	1,53	1,3
4	0	540	1,51	1,53	1,3	1,33	1,34	0,8
5	15	550	1,94	1,91	1,6	1,68	1,70	1,2
6	15	540	1,78	1,80	1,1	1,56	1,55	0,6
				Δ_{cp1}	1,20 %		Δ_{cp2}	1,17 %

Табл. 6. Проверка достоверности результатов (по блоку 2)
Tab. 6. Verifying the validity of the results (for block 2)

периментов по задаваемым условиям и получении экспериментальных значений скоростей сварки (v_3 и v_4); в получении расчётных значений для скоростей сварки (U_3 и U_4) и определении расхождения (Δ_3 и Δ_4) между расчётными и экспериментальными значениями (таблица 6).

Среднее значение расхождения Δ_{cp} определяется как среднее арифметическое значение по 6 опытам. Установлено, что ошибка экспериментов по блоку 2 (среднее расхождение) не превышает 1,2 % с интервалом разброса ошибок (дисперсией) от 0,6 до 1,8 %.

Обсуждение

В процессе реализации исследований по блокам 1 и 2 установлено, что характер полученных зависимостей во всех четырёх сериях эксперимента имеет идентичную реализацию. Относительно X_1 происходит монотонное возрастание функции отклика (температуры сварки); относительно X_2 зависимость имеет вид функции, приближающейся к линейной.

Полученные зависимости обладают инвариантностью и, с учётом статистической ошибки 5 %, могут быть использованы для графического или аналитического определения скорости сварки в зависимости от температур среды, сварки и толщины мембраны 1,5 или 2,0 мм.

Варьируемые факторы, принятые в исследованиях (температура окружающей среды и температура сварки), являются значимыми, и скорость сварки зависит от их

значений. Наибольшее влияние оказывает температура окружающей среды (положительные коэффициенты при X_1), при этом при температурах, приближающихся к верхнему уровню, это влияние частично нивелируется (отрицательные коэффициенты при X_{12}). Температура сварки также является значимой величиной, и её увеличение позволяет повышать скорость сварки (положительные коэффициенты при X_2). Парное взаимодействие имеет антагонистический характер (отрицательные коэффициенты при X_1X_2), что соответствует реальному положению дел: более высокие температуры позволяют увеличить скорость сварки, а их снижение предполагает снижение скорости сварки.

Заключение

Использование метода математического планирования эксперимента и цифровой оптимизации его результатов является наиболее эффективным способом решения технологических задач, позволяющим получать результаты оценки влияния группы факторов и проверить их достоверность. Результатом использования такого метода при оптимизации технологии гидроизоляции с применением полимерных мембран стало нахождение уравнений математических моделей технологического процесса. Полученные модели и сформированная методология исследований позволяют решить задачу определения оптимальной скорости сварки в зависимости от температуры окружающей среды и температуры сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барашкова, П. С. Гидроизоляция подвалов от грунтовых вод и капиллярной влаги / П. С. Барашкова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 9-1. – С. 245–247.

2. Ескалиев, М. Ж. Исследования современного состояния вопроса разработки организационно-технологических решений при строительстве объектов / М. Ж. Ескалиев, З. Р. Мухаметзянов // Экономика строительства. – 2022. – № 2 (74). – С. 52–60.

3. Mukhametzyanov, Z. R. Mechanism of development of organizational solutions based on a technological interaction between construction works and processes / Z. R. Mukhametzyanov, R. V. Razyapov // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – No. 3 (39). – Pp. 85–92.

4. Давлетшин, Э. Г. Модульный подход к выбору гидроизоляционного решения подземной части здания / Э. Г. Давлетшин, З. Р. Мухаметзянов. – DOI 10.14529/build230405 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2023. – Т. 23, № 4. – С. 46–51.

5. Изоляционные и отделочные покрытия : СП 71.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.04.01-87 : Свод правил : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 128/пр : введён в действие с 28 августа 2017 г. / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). – Москва : Стандартинформ, 2017.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barashkova, P. S. Gidroizolyatsiya podvalov ot gruntovykh vod i kapillyarnoy vlagi [Waterproofing basements from groundwater and capillary moisture] / P. S. Barashkova // Aktual'nye problemy humanitarnykh i estestvennykh nauk [Actual problems of humanities and natural sciences]. – 2016. – No. 9-1. – Pp. 245–247.

2. Eskaliev, M. Zh. Issledovaniya sovremennogo sostoyaniya voprosa razrabotki organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij pri stroitel'stve ob'ektov [Research on the current state of the issue of developing organizational and technological solutions for the construction of facilities] / M. Zh. Eskaliev, Z. R. Muhametzyanov // Ehkonomika stroitel'stva [Economics of construction]. – 2022. – No. 2 (74). – Pp. 52–60.

3. Mukhametzyanov, Z. R. Mechanism of development of organizational solutions based on a technological interaction between construction works and processes / Z. R. Mukhametzyanov, R. V. Razyapov // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2018. – No. 3 (39). – Pp. 85–92.

4. Davletshin, E. G. Modul'nyj podkhod k vyboru gidroizolyatsionnogo resheniya podzemnoj chasti zdaniya [A modular approach to selecting a waterproofing solution for the underground part of a building] / E.G. Davletshin, Z. R. Muhametzyanov. – DOI 10.14529/build230405 // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture.]. – 2023. – Vol. 23, No. 4. – Pp. 46–51.

5. Izolyatsionnye i otdelochnye pokrytiya : SP 71.13330.2012. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.04.01-87 : Svod pravil [Insulation and finishing coatings : SP 71.13330.2012. Updated version of SNiP 3.04.01-87 : Code of Rules] : utverzhden prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishno-kommunal'nogo khozaystva Rossiyskoj Federatsii ot 27 fevralya 2017 g. № 128/pr [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated February 27,

6. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии : СП 72.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 3.04.03-85 : Свод правил : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 965/пр : введён в действие с 17 июня 2017 г. / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). – Москва : Стандартинформ, 2019.

7. Жуков, А. Д. Решение технологических задач методами математического моделирования : монография / А. Д. Жуков, А. В. Чугунков, В. А. Рудницкая. – Москва : МГСУ, 2011. – 176 с.

8. Энергетическая эффективность строительных систем : монография / А. Д. Жуков, Е. Ю. Боброва, И. В. Бессонов, Е. А. Медникова. – DOI 10.12737/1856852. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 329 с. – (Научная мысль).

9. Применение статистических методов для решения задач строительного материаловедения / А. Д. Жуков, Е. Ю. Боброва, И. В. Бессонов, А. А. Медведев, Б. А. Демисси. – DOI 10.15828/2075-8545-2020-12-6-313-319 // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Т. 12, № 6. – С. 313–319.

10. Foam Polymers in Multifunctional Insulating Coatings / K. A. Ter-Zakaryan, A. D. Zhukov, E. Yu. Bobrova, I. V. Bessonov, E. A. Mednikova. – DOI 10.3390/polym13213698 // Polymers. – 2021. – Vol. 13 (21). – Art. 3698.

11. Modified Polyethylene Foam for Critical Environments / K. A. Ter-Zakaryan, A. D. Zhukov, I. V. Bessonov, E. Yu. Bobrova, T. A. Pshunov, K. T. Dotkulov. – DOI 10.3390/polym14214688 // Polymers. – 2022. – Vol. 14. – Art. 4688.

2017 No. 128/pr] : vveden v deystvie s 28 avgusta 2017 g. [introduction from August 28, 2017] / Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii (Rosstandart) [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart)]. – Moscow : Standartinform, 2017.

6. Zashchita stroitel'nykh konstruksij i sooruzhenij ot korrozii : SP 72.13330.2016. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.04.03-85 : Svod pravil [Protection of building structures and facilities from corrosion : SP 72.13330.2016. Updated version of SNiP 3.04.03-85 : Code of Rules] : utverzhden prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishno-kommunal'nogo khozaystva Rossiyskoj Federatsii ot 16 dekabrya 2016 g. № 965/pr [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 16, 2016 No. 965/pr] : vveden v deystvie s 17 iyunya 2017 g. [introduction from June 17, 2017] / Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii (Rosstandart) [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart)]. – Moscow : Standartinform, 2019.

7. Zhukov, A. D. Reshenie tekhnologicheskikh zadach metodami matematicheskogo modelirovaniya : monografiya [Solving technological problems by mathematical modeling methods : A monograph] / A. D. Zhukov, A. V. Chugunkov, V. A. Rudnickaya. – Moscow : MGSU, 2011. – 176 p.

8. Ehnergeticheskaya ehffektivnost' stroitel'nykh system : monografiya [Energy efficiency of building systems : A monograph] / A. D. Zhukov, E. Yu. Bobrova, I. V. Bessonov, E. A. Mednikova. – DOI 10.12737/1856852. – Moscow : INFRA-M, 2022. – 329 p.

9. Zhukov, A. D. Primenenie statisticheskikh metodov dlya resheniya zadach stroitel'nogo materialovedeniya [Application of statistical methods to solve problems in construction materials science] / A. D. Zhukov, E. Yu. Bobrova, I. V. Bessonov, A. A. Medvedev, B. A. Demisse. – DOI 10.15828/2075-8545-2020-12-6-313-319 // Nanotekhnologii v stroitel'stve [Nanotechnologies in construction]. – 2020. – No. 12 (6). – Pp. 313–319.

10. Foam Polymers in Multifunctional Insulating Coatings / K. A. Ter-Zakaryan, A. D. Zhukov, E. Yu. Bobrova, I. V. Bessonov, E. A. Mednikova. – DOI 10.3390/polym13213698 // Polymers. – 2021. – Vol. 13 (21). – Art. 3698.

11. Modified Polyethylene Foam for Critical Environments / K. A. Ter-Zakaryan, A. D. Zhukov, I. V. Bessonov, E. Yu. Bobrova, T. A. Pshunov, K. T. Dotkulov. – DOI 10.3390/polym14214688 // Polymers. – 2022. – Vol. 14. – Art. 4688.

УДК 69.05

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_96

Формирование организационно-технологических решений при восстановлении объектов, подвергшихся природным и техногенным воздействиям

Formation of Organizational and Technological Solutions in the Restoration of Facilities Subjected to Man-Made Impacts

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, 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

Экба Сергей Игоревич

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, sergeyekba@yandex.ru

Ekba Sergey Igorevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, 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

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема проведения восстановительных работ для зданий, сооружений и инженерных систем после воздействия природного и техногенного характера. Определена структура этапов восстановления объектов. Предложены 45 базовых организационно-технологических решений по восстановлению объектов. Выявлены факторы, влияющие на проведение ремонтно-восстановительных работ с учётом технического состояния объекта, массовости повреждений, доступности материально-технических и трудовых ресурсов, безопасности площадок проведения работ.

В исследовании применён метод экспертной оценки с участием специалистов, проектировщиков, технического заказчика, производителей работ, которые имеют соответствующий опыт и членство в саморегулируемых организациях.

По результатам проведённого исследования выявлены ключевые факторы, на основе которых формируются организа-

ционно-технологические решения этапа «Предпроект». Сформированы выводы с учётом характерных особенностей рассматриваемых явлений, а именно: масштабы повреждений и типа объекта, ресурсного обеспечения восстановительных работ. Определены дальнейшие направления исследования, связанные с формированием и подбором состава организационных структур, участвующих в восстановлении объектов, подвергшихся природным и техногенным воздействиям.

Полученные выводы могут быть полезны для организации и управления процессами восстановления послевоенных территорий с целью оперативного приведения объектов в работоспособное техническое состояние.

Ключевые слова: восстановительные работы; техногенные воздействия; взрыв; природные воздействия; наводнение; пожар; организационно-технологические решения; завалы; обрушение.

Abstract. This article discusses the problem of carrying out restoration work for buildings, structures, and engineering systems after natural and man-made impacts. The article defines the structure of the stages of object restoration. It proposes 45 basic organizational and technological solutions for object restoration. The article identifies the factors that influence the implementation of repair and restoration work, taking into account the technical condition of the object, the extent of damage, the availability of material, technical, and labor resources, and the safety of the work sites.

The study used the expert assessment method, with the par-

ticipation of specialists, designers, technical customers, and work producers who have relevant experience and membership in self-regulatory organizations.

Based on the results of the study, key factors were identified, which are used to form organizational and technological solutions at the Pre-project stage. Conclusions were formed, taking into account the characteristics of the phenomena under consideration.

Keywords: restoration work; man-made impacts; explosions; natural impacts; floods; fires; organizational and technological solutions; blockages; and collapses.

становится сложной задачей, в то время как организация восстановительных мероприятий должна быть регламентирована, обладать своими организационными структурами и схемами взаимодействия, иметь свои показатели результативности (продолжительность восстановления объектов, объём введенных объектов, протяжённость восстановленных инженерных сетей и т. д.).

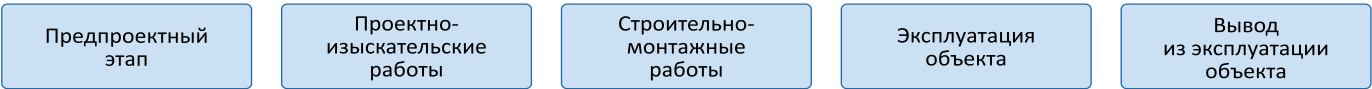


Рис. 1. Этапы формирования организационно-технологических решений при восстановлении объектов, подвергшихся природным и техногенным воздействиям

Fig. 1. The stages of formation of organizational and technological solutions in the restoration of facilities subjected to man-made impacts

Руководствуясь принципами системотехники в строительстве, основными положениями управления жизненным циклом зданий и на основании проведённого анализа зданий и сооружений, разрушенных в ходе природных и техногенных воздействий, считается целесообразным выделить основные этапы формирования управленческих решений при восстановлении объектов (рисунок 1).

В числе таких воздействий в материалах статьи рассматриваются следующие:

- взрывные воздействия в ходе боевых действий, падение снарядов;
- температурные воздействия, вызванные возникновением пожара после взрыва;



Рис. 2. Разрушение зданий вследствие техногенных воздействий
Fig. 2. Destruction of buildings due to man-made impacts

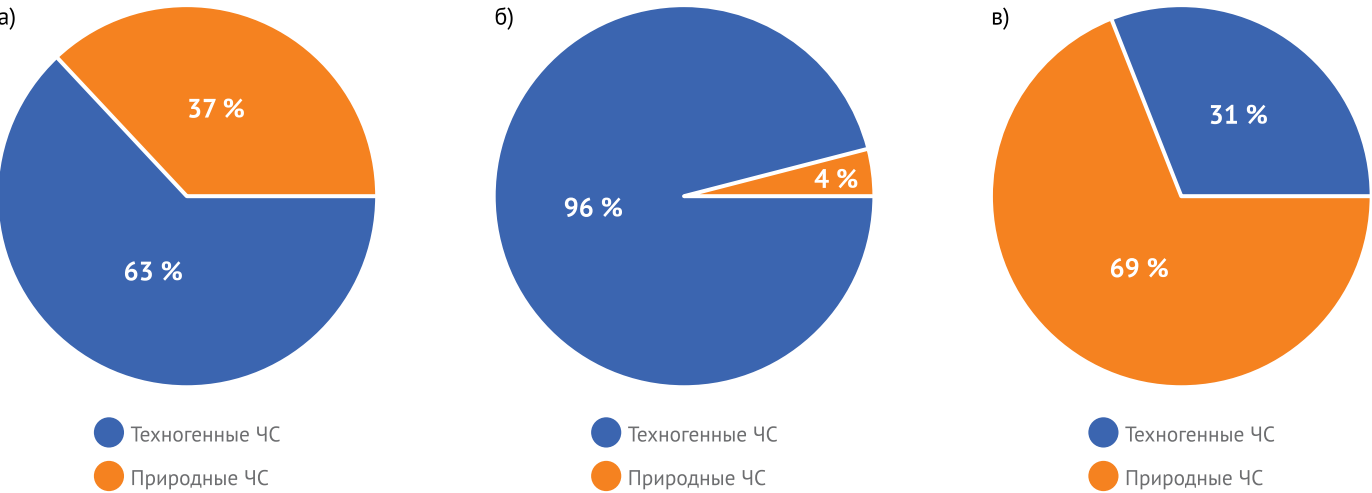


Рис. 3. Показатели по видам воздействий: а) распределение воздействий по видам, б) распределение погибших по видам воздействий, в) распределение пострадавших по видам воздействий
Fig. 3. Indicators by types of impacts: а) distribution of impacts by types, б) distribution of fatalities by types of impacts, в) distribution of victims by types of impacts

№	Организационно-технологические решения
I этап. Предпроект	
1	Сбор исходных данных, технической документации
2	Обследование технического состояния зданий и сооружений, в т. ч. с применением БПЛА, фотограмметрии
3	Организация параллельного проектирования, в т. ч. с применением ТИМ
4	Определение состава материально-технических ресурсов (строительных машин, механизмов, инструмента)
5	Формирование мобильных производственных структур
6	Организация противоаварийных работ
7	Деактивация, дегазация и дезинфекция
8	Разминирование территории
9	Частичная разборка завалов, устройство разгружающих конструкций
10	Устройство подъездных путей
11	Организация площадок складирования строительных материалов и конструкций повторного применения
12	Организация бытовых городков строителей и мобильных (инвентарных) зданий
II этап. Проектно-изыскательские работы	
1	Проведение инженерных изысканий
2	Получение технических условий
3	Получение ГПЗУ
4	Организация разработки проектной документации
5	Организация получения заключения ГЭ
6	Согласование технических условий
7	Разработка проектной документации
8	Получение заключения ГЭ
III этап. Строительно-монтажные работы	
1	Уведомление ГСН
2	Получение РнС
3	Демонтажные работы
4	Обустройство строительной площадки
5	Передача объекта эксплуатирующей организации
6	Ремонт и восстановление подъездных дорог
7	Ремонт фундаментов
8	Ремонт фасада
9	Ремонт крыши
10	Замена инженерных систем
11	Земляные работы
12	Замена и прокладка сетей водоснабжения
13	Замена и прокладка сетей канализации
14	Замена и прокладка сетей теплоснабжения
15	Замена и прокладка сетей электроснабжения
16	Усиление фундаментов и грунтов основания
17	Усиление несущих конструкций
18	Замена крыши
19	Замена заполнений проёмов
20	Прокладка новых инженерных систем
21	Формирование исполнительной документации
22	Замена лифтового оборудования
23	Приёмка объекта в эксплуатацию
24	Оформление ЗОС
25	Получение РнВ

Табл. 1. Организационно-технологические решения при восстановлении объектов, подвергшихся природным и техногенным воздействиям

Tab. 1. Organizational and technological solutions for restoring facilities that have been affected by natural and man-made disasters

- взрывы природного [1] и технических газов (рисунк 2);
- обрушение зданий, сооружений и их отдельных конструкций;
- природные пожары;
- затопления, дождевые паводки;
- сейсмические воздействия;
- оползни, сели;
- просадка грунтов, карстовые просадки.

По итогам 2024 года [2–4], от общего числа происшествий на долю техногенных приходится 63 %, на природные – 37%. Природные и техногенные воздействия

приводят не только к разрушениям зданий, сооружений, инфраструктуры целых населённых пунктов [5–7], материальному ущербу, требующему иногда больших затрат на восстановление, но и к значительному числу пострадавших и погибших людей (рисунок 3). Общий материальный ущерб составляет 70 641 275, 249 тыс. руб.

Сложность при организации восстановительных работ состоит в повторяемости негативных воздействий (падение снарядов, землетрясения) и их длительном характере (пожары, затопления), что вызывает необходимость комплексного подхода при выборе организационно-техноло-

№	Наименование параметра	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Сумма рангов	Вес	d	d2
1	Техническое состояние объекта	10	7	10	8	10	45	0,164	17,5	306,25
2	Необходимость проведения противоаварийных работ, дегазации, деактивации	8	4	5	5	1	23	0,084	–4,5	20,25
3	Сложность конструктивных решений	1	3	1	4	2	11	0,040	–16,5	272,25
4	Стеснённость условий производства работ	7	10	9	10	6	42	0,153	14,5	210,25
5	Опасность условий производства работ	9	9	6	9	7	40	0,145	12,5	156,25
6	Удалённость объекта от баз строительных материалов, конструкций, изделий	2	6	8	7	8	31	0,113	3,5	12,25
7	Наличие трудовых ресурсов	3	2	4	3	5	17	0,062	–10,5	110,25
8	Необходимость согласования технических условий с ресурсоснабжающей организацией	5	8	7	6	9	35	0,127	7,5	56,25
9	Наличие завалов	6	1	3	2	3	15	0,055	–12,5	156,25
10	Техническое состояние подъездных дорог	4	5	2	1	4	16	0,058	–11,5	132,25
		55	55	55	55	55	275	1	–	1432,5

Табл. 2. Параметры и их весовые значения на этапе «Предпроект»
Tab. 2. Parameters and their weight values at the "Pre-project" stage

гических решений (ОТР) при восстановлении зданий, сооружений, инженерных систем [8–10].

Материалы и методы

В рамках настоящего исследования для формирования ключевых организационно-технологических решений применялся метод экспертного опроса. На начальном этапе реализации метода предложены организационно-технологические решения для основных этапов восстановительных работ (таблица 1). Далее определены параметры, характеризующие такие ОТР, в настоящей статье приведены параметры для этапа «Предпроект».

С целью выявления наиболее значимых параметров и их весовых значений определены требования к экспертам: уровень и профиль образования, наличие научных публикаций из перечня ВАК по теме исследования, практический опыт реализованных проектов. Разработана опросная форма и проведён опрос экспертов.

Результаты

В ходе опроса экспертам предложено проранжировать параметры от наиболее значимых (балл 10) к наименее значимым (балл 1). В результате получены весовые значения параметров, оказывающих наибольшее влияние на формирование организационно-технологических решений при восстановлении объектов на этапе «Предпроект» (таблица 2).

Полученные весовые значения в достаточной степени характеризуют условия, в которых приходится вести восстановление зданий, сооружений и инженерных систем. Одной из важнейших задач, решаемых на первом этапе «Предпроект», является оценка условий проведения работ и технического состояния объекта и его отдельных конструктивных элементов, что по результатам опроса подтверждается мнением экспертов. Как видно из таблицы 2, к числу таких параметров относятся: техническое состояние объекта, стеснённость условий производства работ, опасность условий производства работ, удалённость объекта от баз строительных материалов, конструкций, изделий, необходимость согласования технических условий с ресурсоснабжающей организацией.

На основании проведённого исследования можно сделать ряд выводов.

Формирование рациональных организационно-технологических решений по восстановлению объектов, подвергшихся природным и техногенным воздействиям, должно опираться на достоверные и полные исходные

данные. Сбор таких данных осложняется действием дестабилизирующих факторов: опасности обрушения, повторяемости воздействий (взрывы, падение снарядов, землетрясения), отсутствия подъездных дорог к объектам обследования.

Выявленные в ходе исследования ключевые параметры позволяют эффективно планировать оптимальный состав организационно-технологических решений, определить состав организационных структур, порядок их взаимодействия, что в условиях восстановительных работ является критически важным фактором.

Предложенный в таблице 1 состав организационно-технологических решений является базовым и может использоваться на первоначальном этапе планирования восстановительных работ. При этом следует отметить, что в зависимости от типа объекта (жилые, промышленные, инженерные сети) состав ОТР может расширяться.

Формирование организационно-технологических решений при восстановлении объектов, подвергшихся природным и техногенным воздействиям, должно происходить с учётом:

- масштабы повреждений и типа объекта. Рассматриваемые в исследовании воздействия носят массовый характер повреждений и часто распространяются на большие территории, квартал, микрорайон, населённый пункт. В таких условиях необходимо формировать состав ОТР с учётом конструктивных и объёмно-планировочных решений, материалов несущих конструкций, очередности проведения работ;
- ресурсного обеспечения восстановительных работ. Характерной особенностью при рассматриваемых воздействиях является удалённость и труднодоступность территории с объектами восстановления. Данный фактор необходимо учитывать при рассмотрении вопроса механизации восстановительных работ, обеспечения их материалами, конструкциями, в том числе повторного применения, и трудовыми ресурсами.

Заключение

В результате проведённого исследования можно сделать ряд выводов:

- Сформирована структура восстановительных работ с учётом природных и техногенных воздействий на здания, сооружения, инженерные сети. Выделены

- пять этапов: «Предпроект», «Проектно-исследовательские работы», «Строительно-монтажные работы», «Эксплуатация объекта», «Вывод из эксплуатации объекта».
- Определён базовый состав организационно-технологических решений (45 ОТР) при восстановлении объектов, подвергшихся природным и техногенным

- воздействиям для этапов «Предпроект», «Проектно-исследовательские работы», «Строительно-монтажные работы».
- Определены ключевые параметры и их весовые значения для этапа «Предпроект», оказывающие наибольшее влияние на формирование ОТР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О взрывах природного газа и их последствиях в многоэтажном жилом секторе / Е. А. Сушко, А. М. Зайцев, А. А. Кашникова, Д. С. Черных // Современные проблемы гражданской защиты. – 2013. – № 3 (8). – С. 20–23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vzryvakh-prirodnogo-gaza-i-ih-posledstviyah-v-mnogoehtazhnom-zhilom-sektore/>.

2. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2024 году Государственный доклад : государственный доклад [версия с QR-кодами] / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – Москва : МЧС Медиа, 2025. – 272 с.

3. Disasters Around the World. Global and Regional View / World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, 23–27 May, 1994. – 1994. – Informationpaper № 4. – P. 87.

4. Natural disasters in the World. A technical contribution of Spain to the IDNDR / International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), Madrid, 1992. – 1992. – P. 65.

5. Акулич, В. В. Организационно-технологические решения при проведении восстановительных работ / В. В. Акулич, Б. Ф. Ширшиков // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : Сборник XIV Международной межвузовской научно-практической конференции молодых

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O vzryvakh prirodnogo gaza i ikh posledstviyakh v mnoegoetazhnom zhilom sektore [On natural gas explosions and their consequences in the multi-storey residential sector] / E. A. Sushko, A.M. Zaitsev, A. A. Kashnikova, D. S. Chernykh // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. [Modern problems of civil protection]. – 2013. – № 3 (8). – С. 20–23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vzryvakh-prirodnogo-gaza-i-ih-posledstviyah-v-mnogoehtazhnom-zhilom-sektore/>. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vzryvakh-prirodnogo-gaza-i-ih-posledstviyah-v-mnogoehtazhnom-zhilom-sektore/>.

2. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federatsii ot chrezvychajnykh situatsij prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera v 2024 godu Gosudarstvennyj doklad : gosudarstvennyj doklad [versiya s QR-kodami] [State Report on the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2024 : State report [QR-coded version]] / Ministerstvo Rossijskoj Federatsii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situatsiyam i likvidatsii posledstvij stikhijnykh bedstvij [The Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergency Situations and Elimination of Consequences of Natural Disasters]. – Moscow : MCHS Media [Ministry of Emergency Situations Media], 2025. – 272 p.

3. Disasters Around the World. Global and Regional View / World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, 23–27 May, 1994. – 1994. – Informationpaper № 4. – P. 87.

4. Natural disasters in the World. A technical contribution of Spain to the IDNDR / International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), Madrid, 1992. – 1992. – P. 65.

5. Akulich, V. V. Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya pri provedenii vosstanovitel'nykh rabot [Organizational and technological solutions during restoration work] / V. V. Akulich, B. F. Shirshikov // Stroitel'stvo – formirovanie sredy zhiznedeyatel'nosti : Sbornik XIV Mezhdunarodnoj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh

uchyonykh, doktorantov i aspirantov, Moskva, 27–29 aprelya 2011 g. [Construction – formation of the living environment : Collection of the XIV International Interuniversity Scientific and Practical Conference of Young Scientists, doctoral students and postgraduates, Moscow, April 27–29, 2011]. – 2011. – Pp. 168–170.

6. 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).

7. Metodika tipizatsii mnogokvartirnykh domov, podlezhashhikh kapital'nomu remontu obshhego imushchestva [The methodology of typification of apartment buildings subject to major repairs of common property] / A. A. Lapidus, S. I. Ekba, E. B. Tregubova, S. A. Kormukhin // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of higher educational institutions. Construction]. – 2023. – No. 2. – Pp. 56–64.

8. Lapidus, A. A. Developing administrative and process-related solutions for the benefit of residential construction projects / A. A. Lapidus, T. K. Kuzmina, P. V. Bolshakova. – DOI 10.58224/2618-7183-2024-7-6-2 // Construction Materials and Products. – 2024. – Vol. 7, Iss. 6. – Art. 2.

9. Virtsev, M. Y. Optimizatsiya zatrat pri vypolnenii rekonstruktsii zhilykh zdaniy [Cost optimization during the reconstruction of residential buildings] / M. Y. Virtsev // Zhilishhnye strategii [Housing strategies]. – 2025. – No. 1. – Pp. 89–99. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-zatrat-pri-vypolnenii-rekonstruktsii-zhilykh-zdaniy>.

10. Avtomatizatsiya zhiznennogo tsikla zdaniy pri rekonstruktsii i kapital'nom remonte [Automation of the life cycle of buildings during reconstruction and major repairs] / V. I. Rimshin, I. L. Shubin, V. T. Yerofeyev, A. A. Avetisyan. – DOI 10.31659/0044-4472-2022-7-6-12 // Zhilishhnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2022. – No. 7. – Pp. 6–12.

УДК 69.01

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_101

Эффективность деятельности технического заказчика на различных этапах проекта реализации объекта культурного наследия в г. Москве

The Effectiveness of the Technical Customer at Various Stages of the Project for the Implementation of a Cultural Heritage Site in Moscow

Синенко Сергей Анатольевич

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, sasin50@gmail.com

Sinenko Sergey Anatolyevich

Doctor of Technical Sciences, 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, sasin50@gmail.com

Артамонов Алексей Александрович

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

Artamonov Alexey Aleksandrovich

Master's student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (НИУ МГСУ), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, artamonov-aa@mail.ru

Аннотация. Данная статья представляет комплексное исследование эффективности деятельности технического заказчика в процессе реализации проектов восстановления объектов культурного наследия в Москве. Авторы детально анализируют теоретические аспекты и нормативно-правовую базу, регулирующую деятельность технического заказчика, с акцентом на специфику работы с памятниками истории и культуры. В работе последовательно рассматриваются все ключевые этапы реализации проектов: подготовительный, проектный, строительный, контрольный и этап ввода объекта в эксплуатацию.

Особое внимание уделяется разработке адаптированной системы оценки эффективности, включающей как количественные показатели (KPI), так и качественный анализ по методу «затраты – выгоды». На примере успешно реализованных проектов – реставрации Северного речного вокзала и реконструкции Дома Наркомфина – наглядно продемонстрирована ключевая роль технического заказчика в достижении оптимального ба-

Abstract. This article presents a comprehensive study of the effectiveness of technical contractors in implementing cultural heritage restoration projects in Moscow. The authors provide a detailed analysis of the theoretical aspects and legal framework governing the activities of technical contractors, with a focus on the specifics of working with historical and cultural monuments. The paper consistently examines all key stages of project implementation: preparatory, design, construction, control, and commissioning.

Particular attention is paid to the development of an adapted performance assessment system, incorporating both quantitative indicators (KPIs) and qualitative cost-benefit analysis. Using examples of successfully completed projects – the restoration of the Northern River Terminal and the reconstruction of the Narkomfin

Введение

В современном мире, где урбанизация и экономическое развитие часто вступают в противоречие с необходимостью сохранения исторической идентичности, тема оценки эффективности деятельности технического заказчика в проектах, связанных с объектами культурного на-

ланса между сохранением исторической аутентичности и адаптацией объектов к современным требованиям.

В исследовании выявлены и проанализированы основные факторы, влияющие на эффективность: правовые ограничения, особенности взаимодействия с государственными органами и уровень профессиональной подготовки специалистов. В заключительной части статьи сформулированы практические рекомендации по повышению эффективности, включая внедрение BIM-технологий, совершенствование программ обучения специалистов и интеграцию системы KPI в контрактные отношения.

Ключевые слова: технический заказчик; объекты культурного наследия; оценка эффективности; реставрация; реконструкция; Москва; ключевые показатели эффективности (KPI); управление проектами; сохранение культурного наследия; нормативное регулирование.

Building – the key role of technical contractors in achieving an optimal balance between preserving historical authenticity and adapting sites to modern requirements is clearly demonstrated.

The study identifies and analyzes the key factors influencing effectiveness, including legal restrictions, interactions with government agencies, and the level of professional training of specialists. The final section of the article formulates practical recommendations for improving efficiency, including the implementation of BIM technologies, improving specialist training programs, and integrating a KPI system into contractual relationships.

Keywords: technical client; cultural heritage sites; performance assessment; restoration; reconstruction; Moscow; key performance indicators (KPIs); project management; cultural heritage preservation; regulatory framework.

следования, приобретает особую актуальность. Объекты культурного наследия, представляющие собой материальные свидетельства исторического и культурного развития общества, требуют не только технической компетентности в их реализации, но и строгого соблюдения норм охраны, что делает такие проекты особенно сложными [1; 2]. В

городе Москве как в одном из крупнейших исторических центров России, где сосредоточено более 10 тысяч объектов культурного наследия, включая памятники федерального, регионального и местного значения, роль технического заказчика становится ключевой в балансе между сохранением аутентичности и адаптацией к современным нуждам. Согласно данным Департамента культурного наследия города Москвы, за последние десять лет было отреставрировано свыше 2300 таких объектов, что подчёркивает масштаб задач и необходимость систематической оценки эффективности участников процесса.

Современная практика реализации таких проектов сталкивается с новой волной вызовов, связанных с цифровизацией, растущими ожиданиями инвесторов в отношении окупаемости и необходимостью интеграции объектов в современную городскую инфраструктуру. Это делает роль технического заказчика ещё более многогранной: от него требуется не только безупречное знание реставрационных норм, но и компетенции в области управления и взаимодействия с разными агентами, применения информационного моделирования (BIM) и поиска нестандартных финансово-экономических моделей для оживления исторических объектов.

Таким образом, оценка его эффективности эволюционирует от контроля традиционных метрик к анализу способности создавать устойчивую ценность в длительной перспективе. Значимость сохранения культурного наследия обусловлена не только культурной ценностью, но и социально-экономическими аспектами: эти объекты способствуют развитию туризма, повышению привлекательности города и формированию национальной идентичности. Однако процессы реставрации, реконструкции или адаптации часто сталкиваются с рисками превышения бюджета, срывов сроков и нарушениями требований охраны, что может привести к потере исторической ценности. В этом контексте технический заказчик выступает как координатор, представляющий интересы инвестора или собственника, и обеспечивающий интеграцию всех этапов проекта в соответствии с нормативными требованиями. Его деятельность регулируется Гражданским кодексом РФ, Градостроительным кодексом РФ и специализированными законами, такими как Федеральный закон от 25 июня 2002 г. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» [3], который устанавливает рамки для работ по сохранению. В Москве дополнительно действует Закон города Москвы от 13 ноября 2024 г. № 24 «Об объектах культурного наследия в городе Москве» [4], подчёркивающий региональные особенности регулирования. Актуальность темы усиливается тем, что эффективность технического заказчика напрямую влияет на общую успешность проекта, минимизируя риски и обеспечивая соответствие целям устойчивого развития.

В статье мы рассмотрим теоретические основы, этапы реализации, методы оценки, практические примеры из Москвы, влияющие факторы и рекомендации, акцентируя внимание на интеграции теории и практики для повышения качества управления такими проектами.

Материалы и методы

Теоретическая база оценки эффективности деятельности технического заказчика опирается на понятия управ-

ления проектами в строительстве, адаптированные к специфике объектов культурного наследия. Технический заказчик определяется как юридическое лицо, уполномоченное застройщиком на организацию и координацию работ по инженерным изысканиям, подготовке проектной документации, строительству, реконструкции и вводу в эксплуатацию (ст. 1 Градостроительного кодекса РФ) [1], как подробно описано в специализированной литературе [5]. В контексте культурного наследия его функции расширяются за счёт необходимости учёта охранных обязательств, включая научные исследования и экспертизу [6]. Согласно ГОСТ Р 55567-2013 «Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований для объектов сохранения культурного наследия» [7], технический заказчик отвечает за формирование исходных данных, контроль качества изысканий и интеграцию результатов в проект. Его основные функции включают: оформление разрешительной документации, согласование проектов с органами охраны наследия, контроль за соблюдением сроков и бюджета, организацию строительства с учётом специфики объекта, а также приёмку работ.

Критерии эффективности его деятельности строятся на принципах проектного менеджмента, таких как достижение целей в рамках ограничений (время, стоимость, качество), с добавлением аспекта соответствия требованиям охраны. В научной литературе, например, в работе Лимонова Л. Э. и Несена М. В. [8], а также Михайлова А. В. [9], подчёркивается использование анализа «затраты – выгоды» для оценки общественной эффективности, где ключевыми являются экономическая чистая приведённая стоимость (ENPV) и норма доходности (ERR). Эти критерии позволяют количественно измерить вклад технического заказчика в минимизацию рисков и максимизацию пользы, включая социальные аспекты, такие как «готовность платить» (willingness to pay) за сохранение наследия. Теоретически эффективность оценивается по балансу между финансовыми показателями и нематериальными выгодами, такими как сохранение культурной ценности, что требует интеграции методов условной оценки и выявленного предпочтения. В практике это проявляется в способности технического заказчика координировать междисциплинарные команды, включая реставраторов, архитекторов и экспертов по наследию, обеспечивая синергию теории и реальных условий.

Помимо классических функций проектного управления, технический заказчик в сфере культурного наследия выступает ключевым посредником между интересами инвестора, требованиями регулирующих органов и этическими нормами сохранения исторической памяти. Его роль выходит за рамки простого контроля бюджета и сроков, трансформируясь в миссию по обеспечению культурной и исторической преемственности. Это требует от него не только глубоких знаний в области строительства и реставрации, но и понимания исторической ценности объекта, а также навыков коммуникации с широким кругом стейкхолдеров – от государственных экспертов до общественных организаций и местных жителей, для которых объект может иметь высокую символическую ценность. Таким образом, эффективность технического заказчика измеряется и его способностью минимизиро-

вать социальные конфликты и обеспечить общественное признание результатов проекта.

Этапы реализации проектов объектов культурного наследия в Москве можно разделить на несколько ключевых фаз, каждая из которых подразумевает активное участие технического заказчика для обеспечения эффективности. Подготовительный этап начинается с идентификации объекта и формирования технического задания. Здесь технический заказчик организует инженерные изыскания, включая историко-культурные исследования, в соответствии с Федеральным законом № 73-ФЗ [3] и получает разрешения от Департамента культурного наследия Москвы. Эффективность на этом этапе измеряется по своевременному сбору данных и минимизации предварительных затрат, что предотвращает будущие корректировки. Например, в проектах реставрации технический заказчик координирует экспертизу для определения предмета охраны, как предусмотрено Законом Москвы № 24 [4].

Переходя к проектному этапу, фокус смещается на разработку научно-проектной документации. Технический заказчик утверждает задания на проектирование, контролирует соответствие нормам ГОСТ Р 56891.2-2016 «Сохранение объектов культурного наследия. Термины и определения» [10], и организует государственную историко-культурную экспертизу. Здесь эффективность проявляется в оптимизации дизайна, учитывающего аутентичность материалов и конструкций, с целью снижения рисков отклонений.

Строительный этап включает непосредственные работы по реставрации или реконструкции, где технический заказчик осуществляет технический надзор, проверку качества и соблюдение техники безопасности. Согласно СП 48.13330.2019 «Организация строительства» [11], он подписывает акты скрытых работ и координирует подрядчиков, обеспечивая соответствие требованиям охраны. Контрольный этап предполагает мониторинг прогресса через регулярные инспекции, корректировку бюджета и сроков с использованием инструментов риск-менеджмента. Наконец, этап ввода в эксплуатацию включает приёмку объекта, получение разрешения на ввод и передачу собственнику. Технический заказчик здесь организует финальную экспертизу и обеспечивает документацию для эксплуатации, включая меры по мониторингу состояния.

На каждом этапе эффективность технического заказчика зависит от его способности интегрировать теоретические модели управления, такие как PMBOK, с практическими ограничениями наследия, что позволяет избежать типичных проблем, таких как задержки из-за археологических находок. Методы оценки эффективности деятельности технического заказчика опираются на ключевые показатели производительности (KPI), адаптированные к специфике культурного наследия. Основные методы

включают анализ «затраты – выгоды», метод условной оценки и расчёт ENPV, как описано в работе Лимонова Л. Э. [8]. Ключевыми показателями являются сроки реализации, стоимость проекта, качество работ и соответствие требованиям охраны. Сроки оцениваются по отклонению от плана, с использованием Gantt-графиков для мониторинга: превышение на 10–15 % может указывать на неэффективность координации. Стоимость анализируется через variance analysis, где эффективность подтверждается, если фактические расходы не превышают бюджет более чем на 5–10 %, учитывая инфляцию и непредвиденные затраты на реставрацию. Качество измеряется по соответствию нормам, включая визуальную аутентичность и структурную целостность, с применением экспертных оценок и лабораторных тестов материалов. Соответствие требованиям охраны оценивается по отсутствию нарушений, зафиксированных в актах экспертизы, и по сохранению предмета охраны. В таблице 1 приведены примеры KPI для различных этапов.

Помимо количественных KPI, всё большее значение приобретают качественные и социокультурные показатели эффективности. К ним можно отнести:

- Уровень удовлетворённости стейкхолдеров: оценивается через опросы представителей государственных органов охраны наследия, конечных пользователей объекта (арендаторов, посетителей) и экспертного сообщества после завершения проекта;
- Медийный резонанс и общественное восприятие: анализ тональности публикаций в СМИ и социальных сетях, посвящённых проекту, позволяет оценить его восприятие обществом, что косвенно свидетельствует об успешности работы по сохранению исторического облика;
- Достижение целевых показателей функционального назначения: для адаптированных объектов (например, превращённых в гостиницы или культурные центры) важным KPI является достижение плановых эксплуатационных показателей (загрузка, посещаемость, доходность), что подтверждает не только культурную, но и экономическую состоятельность проекта.

Интеграция этих мягких метрик в систему оценки позволяет получить более целостную картину эффективности деятельности технического заказчика, выходящую за рамки традиционного «железного треугольника» проектного управления (сроки, бюджет, качество).

Эти методы позволяют количественно и качественно оценить вклад технического заказчика, связывая теорию с практикой через регулярный мониторинг.

Результаты

Практика в г. Москве демонстрирует разнообразие подходов к реализации проектов объектов культурного

Этап проекта	Ключевой показатель (KPI)	Метод оценки	Критерий эффективности
Подготовительный	Сбор данных и разрешений	Временной анализ	Завершение в 90 % от плана
Проектный	Качество документации	Экспертная оценка	100 % соответствие нормам
Строительный	Стоимость работ	Дисперсионный анализ	Отклонение <10 %
Контрольный	Количество корректировок	Риск-анализ	Менее 5 инцидентов
Ввод в эксплуатацию	Соответствие охране	Экспертиза	Положительное заключение

Табл. 1. Примеры ключевых показателей эффективности (KPI) для различных этапов проекта
Tab. 1. Examples of key performance indicators (KPIs) for various project stages

Проект	Тип работ	Роль техзаказчика	Результаты
Северный речной вокзал	Реставрация	Координация изысканий и строительства	Сохранение аутентичности, ввод в 2020 г
Дом Наркомфина	Реконструкция	Контроль качества и бюджета	Экономия 8 %, адаптация под жильё
Театральный Дом	Адаптация	Согласование с органами	Восстановление фасадов, элитный комплекс
Шереметьевское подворье	Реставрация	Организация экспертизы	41 апартамент, сохранение лепнины
ГЭС-2	Реконструкция	Риск-менеджмент	Центр искусства, площадь 40 тыс. м²

Табл. 2. Обобщение ключевых проектов реализации объектов культурного наследия в г. Москве
Tab. 2. Summary of key projects for the implementation of cultural heritage sites in Moscow

наследия, где роль технического заказчика проявляется в координации сложных процессов. Одним из ярких примеров является реставрация Северного речного вокзала (Ленинградское шоссе, д. 51), построенного в 1937 г. по проекту Алексея Рухлядева и Владимира Кринского. Технический заказчик здесь организовал комплексные работы, включая восстановление фасадов, интерьеров и инженерных систем, с бюджетом свыше 4 млрд руб., завершённые в 2020 г. Эффективность проявилась в соблюдении сроков (задержка менее 5 %) и сохранении аутентичности, подтверждённой экспертизой Департамента культурного наследия.

Другой пример – реконструкция Дома Наркомфина на Новинском бульваре, памятника конструктивизма 1928–1930 гг. Технический заказчик координировал адаптацию под жилой комплекс, сохранив оригинальную планировку и добавив современные элементы с акцентом на качество материалов. Проект завершён в 2020 г. с экономией бюджета на 8 % благодаря оптимизации закупок. В таблице 2 обобщены ключевые проекты.

Ещё одним показательным примером новейшего времени является реставрация и приспособление комплекса палат Старого Английского двора на Варварке. В данном проекте техническому заказчику удалось не только обеспечить высокую аутентичность реставрационных работ XVI–XVII веков, но и интегрировать в памятник археологии современные мультимедийные системы для экспозиции, не нанеся ущерба исторической субстанции. Ключевой сложностью, успешно преодолённой, стала координация работ археологов, реставраторов и специалистов по инженерным системам в условиях крайне стеснённого пространства и высокой исторической ценности каждого обнаруженного элемента. Успех проекта был отмечен профессиональными премиями, что также может рассматриваться как неформальный KPI эффективности деятельности заказчика.

Особенности регулирования в Москве включают строгий контроль через Закон № 24 [4], требующий заданий на работы и экспертизу, что усиливает роль технического заказчика в предотвращении нарушений.

Факторы, влияющие на эффективность технического заказчика, включают правовые ограничения, взаимодействие с госорганами и специфику наследия. Правовые рамки, такие как Федеральный закон № 73-ФЗ [3], налагают обязательства по приостановке работ при находках, что может увеличить сроки на 20–30 %. Взаимодействие с Департаментом культурного наследия и Ростехнадзором требует оперативности в согласованиях, где неэффективность приводит к штрафам. Специфика наследия – хрупкость материалов и уникальность – повышает риски, как в анализе рисков по ГОСТ Р 54869-2011 [12]. Эти фак-

торы подчёркивают необходимость интеграции теории риск-менеджмента с практикой.

Важнейшим, но часто недооценённым фактором является кадровый потенциал самой организации технического заказчика. Эффективность напрямую зависит от наличия в команде не только инженеров и сметчиков, но и специалистов с глубокими знаниями в области истории архитектуры, археологии, реставрационных материалов и технологий. Дефицит таких узкоспециализированных кадров на рынке труда может привести к ошибкам на этапе проектирования. Кроме того, необходимы менеджеры, владеющие различными подходами для оперативного реагирования на непредвиденные обстоятельства, неизбежные при работе с памятниками. Таким образом, инвестиции в непрерывное образование сотрудников и формирование междисциплинарных команд являются стратегическим ресурсом для повышения эффективности технического заказчика.

Заключение

В заключение, оценка эффективности технического заказчика в проектах культурного наследия в Москве показывает его ключевую роль в достижении баланса между сохранением и развитием. Выводы указывают на положительную динамику в практике, но с потенциалом улучшения через цифровизацию мониторинга. Рекомендации же следующие: внедрять BIM-технологии для всех этапов, усиливать обучение в области культурного наследия и интегрировать KPI в контракты для повышения ответственности [13].

Перспективным направлением для дальнейших исследований по данной теме является сравнительный анализ моделей взаимодействия технического заказчика с государственными заказчиками и частными инвесторами, а также изучение влияния государственно-частного партнёрства на эффективность и конечные результаты проектов ревитализации объектов культурного наследия.

Актуальность и эффективность предложенных рекомендаций подтверждаются современными исследованиями в области управления проектами и цифровизации наследия. В частности, работы отечественных и зарубежных авторов демонстрируют растущую роль BIM-технологий не только как инструмента проектирования, но и как платформ для всего жизненного цикла объекта культурного наследия [14; 15]. Исследования в области государственно-частного партнёрства доказывают его потенциал для привлечения инвестиций в ревитализацию исторических объектов при условии чёткого нормативного регулирования [16; 17]. Кроме того, современные подходы к оценке эффективности, включая социокультурные метрики и анализ жизненного цикла, позволяют получить более комплексное представление о результативности деятельности технического заказчика [18;19; 20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 13 июня 2023 года) : Кодекс от 29 декабря 2024 г. № 190/ФЗ : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года // Собрание законодательства РФ. – 2005. – № 1 (часть 1). – Ст. 16.

2. Цацулин, А. Н. О рисках человеческого фактора на этапах проектирования реставрационных работ на региональных объектах культурного наследия / А. Н. Цацулин, И. С. Богатырёв. – DOI 10.53115/19975996_2024_03_128_141 // Общество. Среда. Развитие. – 2024. – № 3. – С. 128–141.

3. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации : Федеральный закон от 25 июня 2002 г. № 73-ФЗ : принят Государственной Думой 24 мая 2002 года : одобрен Советом Федерации 14 июня 2002 г. // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 26. – Ст. 2519.

4. Об объектах культурного наследия в городе Москве : Закон города Москвы от 13 ноября 2024 г. № 24 : вступает в силу с 1 января 2025 г. // Официальный портал Мэра и Правительства Москвы <http://mos.ru>. – 22 ноября 2024 г.

5. Крестин, П. А. Основные функции технического заказчика в строительстве и основы строительного контроля / П. А. Крестин. – DOI 10.18454/IRJ.2015.42.046 // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – Т. 11, № 42. – С. 36–39.

6. Kerr J. S. The Conservation Plan: A Guide to the Preparation of Conservation Plans for Places of European Cultural Significance / J. S. Kerr. – 7th ed. – Sydney : National Trust, 2013. – 200 p.

7. Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований для объектов сохранения культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования : Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 55567-2013 : утверждён и введён в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 августа 2013 г. № 665-ст. – Москва : Стандартинформ, 2014.

8. Лимонов, Л. Э. Оценка эффективности проектов сохранения культурного наследия / Л. Э. Лимонов, М. В. Несена, А. А. Семенов // Регион: экономика и социология. – 2019. – № 4. – С. 295–315.

9. Эйвазова, Е. М. К. Музеологические аспекты оценивания памятников истории и культуры: музеализация / Е. М. К. Эйвазова. – DOI 10.17223/22220836/54/23 // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. – 2024. – № 54. – С. 269–279.

10. Сохранение объектов культурного наследия. Термины и определения. Часть 2. Памятники истории и культуры : Национальный стандарт ГОСТ Р 56891.2-2016 : утверждён

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii (s izmeneniyami na 13 iyunya 2023 goda) [Urban Planning Code of the Russian Federation (as amended on June 13, 2023)] : Kodeks ot 29 dekabrya 2024 g. № 190/FZ [Code of December 29, 2024 No. 190/FZ] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 22 dekabrya 2004 goda [adopted by the State Duma on 22 December 2004] : odobren Sovetom Federatsii 24 dekabrya 2004 goda [Approved by the Federation Council on December 24, 2004] // Sbranie zakonodatel'stva RF [Collection of legislation of the Russian Federation]. – 2005. – No. 1 (part 1). – Art. 16.

2. Tsatsulin, A. N. O riskakh chelovecheskogo faktora na etapakh proektirovaniya restavratsionnykh rabot na regional'nykh

приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 марта 2016 г. № 135-ст : введён в действие с 1 июля 2016 г. – Москва : Стандартинформ, 2016.

11. СНиП 12-01-2004. Организация строительства : Свод правил СП 48.13330.2019 : утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2019 г. № 861/пр : дата введения 25 июня 2020 г. // Минстрой России : [официальный сайт]. – Москва, 2019.

12. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом : Нациоанльный стандарт РФ ГОСТ Р 54869-2011 : утверждён приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 декабря 2011 г. № 1582-ст : введён в действие 1 сентября 2012 г. – Москва : Стандартинформ, 2012.

13. Antonopoulou S. BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model / S. Antonopoulou, P. Bryan. – Swindon : Historic England, 2017. – 78 p.

14. Абрамов, В. И. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития / В. И. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров. – DOI 10.18334/vines.14.3.121484 // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 691–716.

15. Alshawabkeh Y. HBIM for Conservation of Built Heritage / Y. Alshawabkeh, A. Baik, Y. Miky. – DOI 10.3390/ijgi13070231 // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2024. – Vol. 13, Iss. 7. – Art. 231.

16. Нагорная, М. С. Практика государственно-частного партнёрства в сфере сохранения культурного наследия России / М. С. Нагорная, В. В. Шевцова // Вестник совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. – 2017. – Т. 4, № 4 (19). – С. 43–51.

17. Public-Private Partnership in Cultural Heritage Sector / D. A. Jelinčić, S. Tišma, M. Senkić, D. Dodig. – DOI 10.24193/tras. SI2017.5 // Transylvanian Review of Administrative Sciences. – 2017. – Special Iss. – Pp. 74–89.

18. Хайруллин, В. А. Теоретические и методические основы оценки социального эффекта при проведении капитального ремонта зданий гражданского назначения / В. А. Хайруллин, И. Г. Терехов, А. А. Набиуллина. – DOI 10.15862/79EVN515 // Науковедение. – 2015. – Т. 7, № 5. – С. 1–10.

19. Руководство и методическое пособие по оценке воздействия в контексте Всемирного наследия / С. Корт, Ю. Джо, Р. Маккей, М. Мураи, Р. Теривел ; ред. перевода А. Буторин. – DOI 10.58337/SLRP7810. – Рим : ICCROM, 2024. – 87 с.

20. Stem C. Monitoring and Evaluation in Conservation: a Review of Trends and Approaches / C. Stem, R. Margoluis, N. Salafsky, M. Brown. – DOI 10.1111/j.1523-1739.2005.00594.x // Conservation Biology. – 2005. – Vol. 19, Iss. 2. – P. 295–309.

ob'ektakh kul'turnogo naslediya [On the risks of the human factor at the design stages of restoration work at regional cultural heritage sites] / A. N. Tsatsulin, I. S. Bogatyrev. – DOI: 10.53115/19975996_2024_03_128_141 // Obshhestvo. Sreda. Razvitie [Society. Wednesday. Development]. – 2024. – No. 3. – Pp. 128–141.

3. Ob ob'ektakh kul'turnogo naslediya (pamyatnikakh istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federatsii : Federal'nyj zakon ot 25 iyunya 2002 g. № 73-FZ [On cultural heritage Sites (historical and Cultural Monuments) of the Peoples of the Russian Federation : Federal Law No. 73-FZ of June 25, 2002] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 24 maya 2002 goda : odobren Sovetom Federatsii 14 iyunya 2002 g. [adopted by the State

Duma on May 24, 2002 : approved by the Federation Council on June 14, 2002] // *Sobranie zakonodatel'stva RF* [Collection of Legislation of the Russian Federation]. – 2002. – No. 26. – Art. 2519.

4. Ob ob"ektakh kul'turnogo naslediya v gorode Moskve : Zakon goroda Moskvy ot 13 noyabrya 2024 g. № 24 [On cultural heritage sites in the city of Moscow : Law of the City of Moscow dated November 13, 2024 No. 24] : vstupaet v silu s 1 yanvarya 2025 g. [effective January 1, 2025] // Ofitsial'nyj portal Mehra i Pravitel'stva Moskvy <http://mos.ru> [Official Portal of the Mayor and Government of Moscow <http://mos.ru>]. – November 22, 2024.
5. Krestin, P. A. Osnovnye funktsii tekhnicheskogo zakazchika v stroitel'stve i osnovy stroitel'nogo kontrolya [The main functions of the technical customer in construction and the basics of construction control] / P. A. Krestin. – DOI 10.18454/IRJ.2015.42.046 // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Scientific Research Journal]. – 2015. – Vol. 11, No. 42. – Pp. 36–39.
6. Kerr J. S. The Conservation Plan: A Guide to the Preparation of Conservation Plans for Places of European Cultural Significance / J. S. Kerr. – 7th ed. – Sydney: National Trust, 2013. – 200 p.
7. Poryadok organizatsii i vedeniya inzhenerno-tekhnicheskikh issledovaniy dlya ob"ektov sokhraneniya kul'turnogo naslediya. Pamyatniki istorii i kul'tury. Obshhie trebovaniya : Natsional'nyj standart RF GOST R 55567-2013 [The procedure for organizing and conducting engineering and technical research for cultural heritage preservation sites. Historical and cultural monuments. General requirements : National Standard of the Russian Federation GOST R 55567-2013] : utverzhdyon i vvedyon v dejstvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 28 avgusta 2013 g. № 665-st [approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated August 28, 2013 No. 665-st]. – Moscow : Standartinform, 2014.
8. Limonov, L. E. Otsenka ehffektivnosti proektov sokhraneniya kul'turnogo naslediya [Evaluation of the effectiveness of cultural heritage preservation projects] / L. E. Limonov, M. V. Nesena, A. A. Semenov // *Region: ehkonomika i sotsiologiya* [Region: economics and Sociology]. – 2019. – No. 4. – Pp. 295–315.
9. Eyvazova E. M. K. Muzeologicheskie aspekty otsenivaniya pamyatnikov istorii i kul'tury: muzealizatsiya [Museological aspects of assessing historical and cultural monuments: musealization] / E. M. K. Eyvazova. – DOI 10.17223/22220836/54/23 // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Kul'turologiya i iskusstvovedenie* [Bulletin of Tomsk State University. Cultural studies and art criticism]. – 2024. – No. 54. – Pp. 269–279.
10. Sokhranenie ob"ektov kul'turnogo naslediya. Terminy i opredeleniya. Chast' 2. Pamyatniki istorii i kul'tury : Natsional'nyj standart GOST R 56891.2-2016 [Preservation of cultural heritage sites. Terms and definitions. Part 2. Historical and Cultural monuments : National standard GOST R 56891.2-2016] : utverzhdyon prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 10 marta 2016 g. № 135-st : vvedyon v dejstvie s 1 iyulya 2016 g. [approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated March 10, 2016 No. 135-st : effective July 1, 2016]. – Moscow : Standartinform, 2016.
11. SNiP 12-01-2004. Organizatsiya stroitel'stva : Svod pravil SP 48.13330.2019 [SNiP 12-01-2004. Organization

of construction : Code of Rules JV 48.13330.2019] : utverzhdyon prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva RF ot 24 dekabrya 2019 g. № 861/pr : data vvedeniya 25 iyunya 2020 g. [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated December 24, 2019 No. 861/pr : date of introduction June 25, 2020] // *Minstroj Rossii* [Ministry of Construction of Russia] : [official website]. – Moscow, 2019.

12. Proektnyj menedzhment. Trebovaniya k upravleniyu proektom : Natsioanl'nyj standart RF GOST R 54869-2011 [Project management. Project management requirements : National Standard of the Russian Federation GOST R 54869-2011] : utverzhdyon prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 22 dekabrya 2011 g. № 1582-st : vvedyon v dejstvie 1 sentyabrya 2012 g. [approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 22, 2011 No. 1582-st : effective September 1, 2012]. – Moscow : Standartinform, 2012.
13. Antonopoulou S. BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model / S. Antonopoulou, P. Bryan. – Swindon : Historic England, 2017. – 78 p.
14. Abramov, V. I. TSifrovyje dvojniki: kharakteristiki, tipologiya, praktiki razvitiya [Digital twins: characteristics, typology, development practices] / V. I. Abramov, V. V. Gordeev, A. D. Stolyarov. – DOI 10.18334/vinec.14.3.121484 // *Voprosy innovatsionnoj ehkonomiki* [Issues of innovative economics]. – 2024. – Vol. 14, No. 3. – Pp. 691–716.
15. Alshawabkeh Y. HBIM for Conservation of Built Heritage / Y. Alshawabkeh, A. Baik, Y. Miky. – DOI 10.3390/ijgi13070231 // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2024. – Vol. 13, Iss. 7. – Art. 231.
16. Nagornaya, M. S. Praktika gosudarstvenno-chastnogo partnyorstva v sfere sokhraneniya kul'turnogo naslediya Rossii [The practice of public-private partnership in the field of preserving the cultural heritage of Russia] / M. S. Nagornaya, V. V. Shevtsova // *Vestnik soveta molodykh uchonykh i spetsialistov Chelyabinskoy oblasti* [Bulletin of the Council of Young Scientists and Specialists of the Chelyabinsk region]. – 2017. – Vol. 4, No. 4 (19). – Pp. 43–51.
17. Public-Private Partnership in Cultural Heritage Sector / D. A. Jelinčič, S. Tišma, M. Senkić, D. Dodig. – DOI 10.24193/tras. SI2017.5 // *Transylvanian Review of Administrative Sciences*. – 2017. – Special Iss. – Pp. 74–89.
18. Khairullin, V. A. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy otsenki sotsial'nogo ehffekta pri provedenii kapital'nogo remonta zdaniy grazhdanskogo naznacheniya [Theoretical and methodological foundations of assessing the social effect during major repairs of civil buildings] / V. A. Khairullin, I. G. Terekhov, A. A. Nabiullina. – DOI 10.15862/79evn515 // *Naukovedenie* [Science Studies]. – 2015. – Vol. 7, No. 5. – Pp. 1–10.
19. Rukovodstvo i metodicheskoe posobie po otsenke vozdeystviya v kontekste Vsemirnogo naslediya [Guidelines and methodological guide for impact assessment in the context of World Heritage] / S. N. Kort, Y. N. Joe, R. McKay, M. N. Murai, R. Terivel ; edited by A. N. Butorin. – DOI 10.58337/SLRP7810. – Rome : ICCROM, 2024. – 87 p.
20. Stem C. Monitoring and Evaluation in Conservation: a Review of Trends and Approaches / C. Stem, R. Margoluis, N. Salafsky, M. Brown. – DOI 10.1111/j.1523-1739.2005.00594.x // *Conservation Biology*. – 2005. – Vol. 19, Iss. 2. – Pp. 295–309.

УДК 699.86

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_107

Экономический анализ зелёного строительства

Economic Analysis of Green Construction

Чэнь Янян

Аспирант, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Комсомольская, 70, 837141139@qq.com

Chen Yangyang

Postgraduate student, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Russia, 620002, Ekaterinburg, ulitsa Komsomolskaya, 70, 837141139@qq.com

Ли Цюаньпэн

Аспирант, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Комсомольская, 70, 1061011290@qq.com

Li Quanpeng

Postgraduate student, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Russia, 620002, Ekaterinburg, ulitsa Komsomolskaya, 70, 1061011290@qq.com

Миронова Людмила Ивановна

Кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Мира 19, mirmila@mail.ru

Mironova Lyudmila Ivanovna

Candidate of Engineering Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Russia, 620002, Ekaterinburg, ulitsa Mira, 19, mironovali@urfu.ru

Лю Чун

Аспирант, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Комсомольская, 70, lc996463232@163.com

Liu Chong

Postgraduate student, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Russia, 620002, Ekaterinburg, ulitsa Komsomolskaya, 70, lc996463232@163.com

Чэнь Сяоюй

Аспирант, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ), Россия, 620002, Екатеринбург, улица Комсомольская, 70, schen@urfu.ru

Chen Xiaoyu

Postgraduate student, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), Russia, 620002, Ekaterinburg, ulitsa Komsomolskaya, 70, schen@urfu.ru

Аннотация. В рамках концепции затрат полного жизненного цикла (ЖЦ) здания анализируется стоимостная картина и отличительные характеристики зелёного строительства. Данный подход подразумевает всеобъемлющий учёт не только первоначальных капиталовложений, но и долгосрочных операционных, энергетических, экологических затрат, а также расходов на утилизацию объекта. Детальный анализ структуры затрат полного ЖЦ выявляет, что, хотя стартовые инвестиции могут быть выше, они компенсируются существенной экономией на последующих этапах благодаря снижению потребления ресурсов, минимальным расходам на техническое обслуживание и повышенной долговечности материалов. Экономическая целесообразность проявляется в сокращении операционных издержек, росте рыночной стоимости актива, улучшении здоровья и продуктивности пользователей.

Для стимулирования девелоперов целесообразно разработать комплекс мер, включая налоговые льготы, прямые

Abstract. Within the framework of the concept of full life cycle costs (LC), the cost picture and distinctive characteristics of green construction are analyzed. This approach implies a comprehensive accounting not only of initial capital investments, but also of long-term operational, energy, environmental, and disposal costs. A detailed analysis of the cost structure of a complete LC reveals

субсидии, ускоренные процедуры получения разрешительной документации и программы льготного кредитования. Для формирования потребительского спроса необходимы преференциальные ипотечные программы, пониженные ставки страхования и просветительские кампании. Местным властям следует интегрировать принципы зелёного строительства в стратегическое планирование, градостроительные регламенты и программы развития территорий. Такой комплексный подход обеспечит надёжную теоретическую базу для выработки эффективной государственной политики и технических стандартов, а также послужит руководством для трансформации нормативно-правовой базы, направленной на реализацию многогранных экономических, социальных и экологических дивидендов зелёного строительства.

Ключевые слова: зелёное строительство; полный жизненный цикл; анализ экономических выгод; энергосбережение; экологическая сертификация; устойчивое развитие.

that although the initial investments may be higher, they are offset by significant savings in subsequent stages due to reduced resource consumption, minimal maintenance costs and increased durability of materials. Economic feasibility is manifested in reducing transaction costs, increasing the market value of an asset, and improving user health and productivity.

To encourage developers, it is advisable to develop a set of measures, including tax credits, direct subsidies, accelerated procedures for obtaining permits and preferential lending programs. Preferential mortgage programs, reduced insurance rates, and educational campaigns are needed to generate consumer demand. Local authorities should integrate the principles of green building into strategic planning, urban planning regulations, and territorial development programs. Such an integrated approach will provide

Введение
Экономия ресурсов и защита окружающей среды стали общепринятыми во многих странах. Строительство зданий приводит к возникновению некоторых экологических проблем в процессе застройки. Для достижения общей цели устойчивого развития в нашей стране нельзя игнорировать экономику строительства и также очень важно снизить потребление энергии в процессе строительства. Высокая материалоемкость, энергоёмкость, социальная, экологическая и экономическая значимость которой ставят перед учёными, производителями принципиально новые задачи в рамках устойчивого развития отрасли.

По сравнению с традиционными зданиями, зелёные здания используют новые источники энергии, обеспечивают экономию воды и энергии, а также эффективно улучшают застроенную среду и условия проживания, что получило широкое признание. Зелёные здания обладают многими преимуществами и могут снизить потребление энергии в процессе строительства, но из-за их более высокой стоимости строительство идёт медленнее. С точки зрения всего жизненного цикла строительства, оценка его экономичности и повышение ценности защиты окружающей среды и экономической полезности зелёных зданий могут послужить теоретическим руководством для реализации строительных проектов. Необходимо создать систему оценки, которая могла бы охватывать весь жизненный цикл проекта, чтобы общественность могла понять и признать его, а также повысить его привлекательность на рынке [12].

Материалы и методы
1. Особенности зелёного строительства и строительных проектов на протяжении всего жизненного цикла

1.1. Характеристики зелёного строительства

Всемирный совет по экологическому строительству (The World Green Building Council) определяет устойчивое строительство как вид строительства зданий и сооружений, при котором используются новейшие зелёные технологии, позволяющие свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду [3]. Развитие и продвижение зелёного строительства в строительной сфере зависит от усилий различных участвующих организаций и хорошей внешней среды. Зелёное строительство – это очень сложный системный проект со следующими характеристиками:

1) Отвечает функциональным потребностям здания. Зелёная конструкция обеспечивает комфортное рабочее и жилое пространство для поддержания физического и психического здоровья пользователей. В то же время зелёные здания должны реализовывать задачи и функции традиционных зданий. Их экономия не может осуществляться за счёт здоровья человека, расточитель-

a robust theoretical framework for the development of effective government policies and technical standards, as well as serve as a guide for the transformation of the regulatory framework aimed at realizing the multifaceted economic, social and environmental dividends of green construction.

Keywords: green construction; full life cycle; economic benefits analysis; energy conservation; environmental certification; sustainable development.

ности и устранения отходов, а также повышения эффективности использования площади застройки.

2) Экономит ресурсы. Во-первых, обеспечивает экономию ресурсов и энергии, повторное использование материалов и сокращает выбросы углекислого газа; во-вторых, использует чистую энергию, в полной мере использует солнечную энергию, энергию ветра и другие возобновляемые источники энергии, уменьшает ущерб, наносимый традиционными источниками энергии окружающей среде, и в дальнейшем снижает стоимость зелёных зданий. Третий шаг заключается в повышении коэффициента использования энергии за счёт снижения энергопотребления [4].

3) Защищает окружающую среду. Зелёные здания должны создавать здоровую, безопасную и комфортную внутреннюю среду, а также гармоничное и дружелюбное наружное пространство. Зелёные здания могут уменьшить загрязнение окружающей среды, сосуществовать в гармонии с окружающей природной средой и способствовать координации и единству людей, архитектуры и природы [5].

4) Социальные преимущества. Зелёные здания, которые имеют сертификацию, более популярны, чем обычные [6]. Соблюдение принципов зелёного строительства значительно повышает качество объектов, увеличивает их востребованность и привлекательность для конечных пользователей и потенциальных покупателей, а также снижает затраты на содержание и эксплуатацию [7].

1.2. Характеристики стоимости всего жизненного цикла строительного проекта

При анализе затрат на весь жизненный цикл строительного проекта состав и классификация затрат являются ключевыми элементами. Это не только влияет на первоначальные инвестиции в проект, но и определяет операционную эффективность проекта и конечную остаточную стоимость [8]. В основном он обладает следующими характеристиками:

1) Многоступенчатый. Все этапы строительного проекта будут генерировать затраты, и структура затрат на каждом этапе различна и имеет свои собственные характеристики. Содержание затрат и меры контроля на протяжении всего жизненного цикла различны, объект затрат и позиция уникальны, а затраты по проекту на каждом этапе ограничены, связаны и зависят друг от друга, а стоимость следующего этапа зависит от стоимости предыдущего этапа. Например, качество и глубина проектирования оказывают влияние на стоимость строительства на этапе строительства, а структура и качество строительства оказывают определённое влияние на эксплуатационные расходы на этапе использования. Следовательно, общая стоимость всего жизненного цикла – это не простое сложение каждой стоимости, должен быть проведён систематический анализ и осуществлено определение всего жизненного цикла строительного проекта.

2) Мультисубъективность. По сравнению с традиционными затратами на строительство, зелёные здания в рамках стоимости полного жизненного цикла включают в себя больше организаций, в том числе правительственные административные департаменты, владельцев, проектные подразделения, строительные подразделения, подразделения надзора и аудиторские подразделения. Степень вовлечения участвующих организаций на каждом этапе проекта различна, что оказывает важное влияние на преимущества экологичных зданий при стоимости полного жизненного цикла.

3) Сложность. Контроль затрат в традиционных строительных проектах сосредоточен на сроке строительства проекта. Управление затратами зелёных зданий в рамках стоимости полного жизненного цикла включает в себя больше этапов, в том числе весь процесс от принятия проектного решения до сноса. Расчёт стоимости проекта является более сложной задачей, особенно в связи с неопределённостью срока эксплуатации, и расчёт косвенных выгод, таких как социальные и экологические выгоды, является также более сложным [9].

2. Анализ экономических выгод зелёных зданий на основе стоимости всего жизненного цикла

2.1. Состав затрат на весь жизненный цикл зелёных зданий

Стоимость полного срока службы зелёного здания относится к затратам на разработку, строительство, техническое обслуживание и утилизацию отходов, которые проект должен оплатить в течение запланированного срока действия или определённого жизненного цикла, то есть к затратам, понесённым проектом на ранних этапах принятия решений, на стадиях проектирования, проведения торгов, процесса возведения и завершения строительства проекта, приёмки, а также последующего использования, технического обслуживания и сноса. Дополнительные затраты на экологичные здания в течение всего жизненного цикла в основном проявляются в плате за консультацию и сертификацию инженерных проектов на ранней стадии проекта. Плата за консультацию включает плату за планирование, плату за проектирование и плату за декларирование материалов зелёных зданий [10].

Плата за сертификацию – это плата за сертификацию зелёных зданий, наиболее важной из них является плата за экспертизу; средний и поздний этапы – это, главным образом, увеличение затрат на внедрение зелёных технологий, которые в основном влияют на экономию земли, воды, материалов, энергии внутри и снаружи зданий, на окружающую среду и управление строительством. Допол-

нительные затраты на среднем и позднем этапах показаны в таблице 1.

В целом, затраты на полный жизненный цикл включают затраты на принятие решений по проектированию, затраты на строительство, затраты на использование и техническое обслуживание, а также затраты на переработку и утилизацию лома.

Затраты на разработку решений. Стоимость разработки проекта принятия решений включает в себя затраты на этапе принятия инвестиционного решения.

Расходы на сбор информации, исследовательские отчёты, маркетинговые исследования, оптимизацию программ и финансирование также включают расходы на управление, основные программы и исследовательские эксперименты на этапе проектирования.

1) Этап принятия инвестиционного решения. Принятие инвестиционных решений по проектам зелёного строительства включает в себя выбор инвестиционных планов и моделей зелёного строительства, анализ и демонстрацию осуществимости и необходимости внедрения проектов зелёного строительства с технической точки зрения.

2) Стадия проектирования. Стадия проектирования составляет небольшую долю стоимости всего жизненного цикла зелёных зданий, но метод и глубина проектирования непосредственно влияют на функциональность и качество проектов зелёного строительства, а также напрямую связаны с инвестиционными затратами и выгодами проектов зелёного строительства.

Стоимость строительства. Стоимость строительства экологически чистого здания относится к затратам, возникающим в процессе строительства.

Сумма затрат на оплату труда, материалов, оборудования, управленческих расходов и различных налогов и сборов. Стоимость этапа строительства экологически чистых зданий относительно высока. Изменения в политике, рыночные спрос и предложение, а также цены на материалы также являются важными факторами, влияющими на этап строительства экологически чистых зданий, и качество строительства, выбор материалов и технология строительства на этапе строительства также окажут определённое влияние на последующие этапы.

Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание. Стадия использования зелёных зданий длится долгое время, и доля общих затрат на жизненный цикл выше. Затраты на техническое обслуживание относятся к затратам на энергию, рабочую силу и техническое обслуживание в процессе эксплуатации. При проектировании и строительстве зелёных зданий особое внимание уделяется последующему энергосбережению здания. Затраты на этапе эксплуатации и технического обслуживания имеют

Технология	Примеры возросших расходов
Сохранение земельных ресурсов	Трансформация участков, не имеющих потребительской ценности, и внедрение новых технологий для полноценного использования земли
Экономия воды	Водосберегающее оборудование, новое оборудование для очистки сточных вод, новое водоснабжение
Экономия материалов	Использование строительных отходов и экологически чистых материалов
Энергосбережение	Новые теплоизоляционные материалы, экологически чистая энергия и энергосберегающее оборудование
Внутренняя и наружная среды	Внутреннее освещение, вентиляция, технологии наружного солнечного излучения и т. д.
Управление строительством	Инвестиции в строительство и организационные мероприятия
Операционное управление	Интеллектуальные услуги, безвредная утилизация мусора, плата за управление зелёными насаждениями и т. д.

Табл. 1. Дополнительные затраты на зелёное строительство на средней и поздней стадиях
Tab. 1. Additional costs for green construction in the middle and late stages

значительные преимущества по сравнению с традиционными зданиями.

Возмещение затрат на утилизацию лома. Стоимость переработки и утилизации отходов относится к стоимости переработки и утилизации отходов после того, как экологичное здание достигнет установленного срока службы. Способ утилизации, тип и количество строительных материалов и т. д. являются факторами, влияющими на стоимость переработки и утилизации отходов, и будут иметь различную степень влияния на общество и окружающую среду.

2.2. Анализ экономических выгод от всего жизненного цикла зелёных зданий

Зелёное строительство неразрывно связано с зелёной экономикой, идеи которой сегодня вызывают всё больший интерес учёных различных областей науки. В работе Т. В. Захаровой приведён подробный анализ существующих определений зелёной экономики, большинством из которых имеют общие черты с определением ЮНЕП (UNEP, United Nations Environment Programme), исходящим из того, что зелёная экономика обеспечивает долгосрочное повышение благосостояния людей и сокращение неравенства без рисков для окружающей среды [11].

Преимущества экологичных зданий делятся на основные и скрытые преимущества. Получатели основных выгод относительно ясны, и их выгоды могут быть непосредственно представлены. Основные преимущества зелёных зданий, как правило, относятся к экономическим выгодам, которые можно оценить с помощью соответствующих финансовых показателей. Бенефициары скрытых льгот неясны, их число велико и запутанно, и в краткосрочной перспективе очевидных проявлений нет. Скрытые преимущества зелёных зданий обычно относятся к социальным выгодам. Хотя преимущества экологичных зданий очевидны, всё же есть моменты, которые нуждаются в улучшении, такие как высокие первоначальные инвестиции и длительные сроки строительства [12].

В этой статье в основном анализируются экономические преимущества экологичных зданий. Экономические выгоды зелёных зданий можно вычислить путём анализа энергопотребления здания: необходимо рассчитать разницу между энергопотреблением традиционного здания и зелёного здания, рассчитать экономические выгоды от энергосбережения на основе энергосбережения зелёного здания и соотношения с местными ценами на энергоносители, а затем провести экономический анализ экономики здания. Экологичное строительство основано на оценочных показателях. Прямые выгоды могут быть даже от увеличения стоимости зелёных зданий в течение всего жизненного цикла – в основном они проявляются на ранней стадии проекта в ответ на запрос о государственных субсидиях и различных налоговых льготах и т. д. На средней и поздней стадиях наблюдается экономия земли, воды, материалов, а также происходит энергосбережение, защита окружающей среды внутри и снаружи помещений, управление строительством и эксплуатацией.

Увеличение прямых экономических выгод могут быть в следующем. Экономия в основном проявляется в снижении затрат на приобретение земли и повышении коэффициента использования земли. При определении кадастровой стоимости на базе рыночной стоимости кадастровая стоимость объекта недвижимости не может

превышать величину его рыночной стоимости. Как следствие, налог на недвижимое имущество, строительство которого проведено с учётом экостандартов, может быть изначально завышен в связи с изначально более высокой величиной затрат. Вследствие этого, на наш взгляд, необходимо предусмотреть механизм льготного налогообложения объектов строительства [13]. Экономия затрат на покупку земли связана с выбором относительно дешёвой или заброшенной земли для строительства, а улучшение использования земли в основном сосредоточено на этапах проектирования и строительства проектов экологически чистого строительства за счёт использования подземного пространства и добавления слёев для полного использования земли и снижения затрат на землю.

Аспекты водосбережения в основном проявляются в использовании новых водосберегающих средств и водосберегающей техники для повышения коэффициента использования дождевой воды и водоподготовки, а также преобразования дренажа зданий в воду для орошения и коммунальную воду.

Экономия материалов в основном проявляется в использовании высокоэффективных и многоразовых материалов при строительстве, управления экологической безопасностью, внедрения инновационных технологий, альтернативных источников энергии, модернизированного оборудования и других решений, основанных на энергоносителях и ресурсосбережении [14]. Например, в процессе проектирования сокращаются ненужные компоненты, снижаются материальные затраты и затраты на строительство, а в процессе строительства используется высокоэффективный бетон, что позволяет сократить использование бетона и стальных прутьев. Применение материалов многократного использования в основном выражается в сокращении количества строительных отходов при демонтаже и переработке объекта, а также в снижении общей стоимости за счёт переработки и утилизации материалов.

Технология энергосбережения зданий относится к технической системе, которая сводит к минимуму потребление энергии зданием и повышает эффективность использования энергии за счёт использования эффективных технических мер и методов управления при проектировании, строительстве, эксплуатации и техническом обслуживании зданий [15]. Существует множество технологий, связанных с энергосбережением. Например, для повышения коэффициента использования возобновляемых и чистых источников энергии используется больше солнечной энергии для питания дорог в жилых районах и сокращения выбросов углекислого газа; для снижения энергопотребления используются индукционные лампы, лампы с голосовым управлением и т. д.; используются затеняющие и обслуживающие конструкции для снижения энергопотребления кондиционеров летом, а передовая технология утепления наружных стен используется для уменьшения объёма отопления зимой.

С точки зрения эксплуатации и управления, экономия в основном проявляется в снижении энергопотребления с помощью интеллектуальных систем, рационального регулирования температуры кондиционирования воздуха летом и температуры отопления зимой, а также в использовании голосового управления освещением, в озелене-

нии и поливе в коридоре, а также в солнечном уличном освещении.

Результаты

В работе при анализе затрат на зелёные здания использовалась концепция полного жизненного цикла строительного объекта. В результате анализа можно сделать вывод, что зелёные здания могут эффективно снижать потребление энергии, максимально повышать комфорт работы и проживания жильцов и достигать цели максимизации экономических выгод.

Зелёные здания обеспечивают жителям здоровую и комфортную среду обитания, а также оказывают положительное влияние на охрану окружающей среды и социальную сферу. Исходя из стоимости всего жизненного цикла, зелёные здания имеют более высокую стоимость на ранней стадии инвестирования и строительства, чем традиционные здания, но стоимость эксплуатации и технического обслуживания ниже, и стоимость сноса и утили-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеина, С. Г. Анализ и расчёт «мостиков холода» с целью повышения энергетической эффективности жилых зданий / С. Г. Шеина, А. Н. Миненко // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1097>.
2. Shen, Yanjun. Analysis of the economic benefits of green buildings in the context of the “Fourteenth Five-Year Plan” based on the full life cycle / Shen Yanjun // Smart Buildings and Smart Cities. – 2022. – № 4. – Pp. 133–135. – (На китайском яз.).
3. Устойчивое строительство зданий. Мировые тренды и перспективы для России исследование для ПМЭФ-2022 / АНО «Национальный Центр ГЧП», АО «ДОМ.РФ». – Москва, 2022. – URL: pppcenter.ru/upload/iblock/804/804ae66a9fe353e4a57a7d9a21c31cd9.pdf.
4. Дзян, Хуэй. 基于企业战略布局的地铁运营管理人力资源规划方案的研究 [Исследование плана кадрового планирования метрополитена и управления им на основе стратегического плана предприятия] / Дзян Хуэй. – DOI 10.69979/3029-2727.24.12.019 // 社会企业经济发展 [Экономическое развитие социального предприятия]. – 2024. – Vol. 1, No. 12. – (На китайском яз.).
5. Green buildings: Requirements, features, life cycle, and relevant intelligent technologies / Yin Siyi, Wu Jinsong, Zhao Junhui, M. Nogueira, J. Lloret // Internet of Things and Cyber-Physical Systems. – 2024. – Vol. 4. – Pp. 307–317. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2024.09.002>.
6. Преимущества систем сертификации зданий / Центр исследований и экологического инжиниринга HPBS : [hpb-s.com]. – URL: <https://hpb-s.com/news/vigodi-ot-sertifikaczii-zdaniij/>.
7. Устойчивое строительство зданий / С. Г. Шеина, Р. В. Балашев, Г. А. Живоглазов, Р. Д. Шайхиев // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 12. – URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_77__12_Shahiev.pdf_f24a069200.pdf.
8. Wu, Xiaoming. Cost analysis and optimization of the entire project lifecycle within the framework of a construction

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sheina, S. G. Analiz i raschyot «mostikov kholoda» s tsel'yu povysheniya ehnergeticheskoy ehffektivnosti zhilykh zdaniij [Analysis and calculation of “cold bridges” in order to increase the energy efficiency of residential buildings] // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2012. – No. 4. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1097>.
2. Shen, Yanjun. Analysis of the economic benefits of green buildings in the context of the “Fourteenth Five-Year Plan” based on the full life cycle / Shen Yanjun // Smart Buildings

лизации ниже, чем у традиционных зданий. Также при строительстве зелёных зданий используется больше вторичных материалов, и воздействие на окружающую среду меньше.

При реализации зелёных проектов необходимо контролировать дополнительные затраты и экономию за счёт масштаба, чтобы повысить экономическую отдачу таких проектов. Национальные и местные органы власти должны разработать и внедрить соответствующую политику, направленную на стимулирование строительства экологичных зданий. В соответствии с концепцией содействия устойчивому развитию, энергосбережению и охране окружающей среды, разработка и продвижение зелёных проектов стали важным направлением в строительной отрасли. Решение проблем крупных инвестиций в зелёные здания, низкой доходности и длительных сроков окупаемости имеет большое значение для развития экологичного строительства.

- project/Wu Xiaoming // Журнальная сеть Shandong Huameng Construction Engineering [www.qikanchina.com]. – 2024. – URL: <https://www.qikanchina.com/thesis/view/8654402> (дата обращения: 04.09.2025).
9. Xie, Wanjun. Research on the economic evaluation of energy-saving technology of green buildings based on the whole life cycle / Xie Wanjun, Li Xiaojuan // Shanghai Energy Conservation. – 2021. – No. 8. – Pp. 832–838.
10. Захарова, Т. В. Зелёная экономика и устойчивое развитие России: противоречия и перспективы / Т. В. Захарова // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2015. – № 2 (30). – С. 116–126.
11. Han, Chunyuan. Analysis of the economic benefits of green buildings based on the cost of the whole life cycle / Han Chunyuan // Building materials technology and application. – 2020. – No. 6. – Pp. 49–51.
12. 绿色建筑的优缺点、经济效益、如何提高生活质量？ [Преимущества и недостатки зелёных зданий: экономические выгоды и как улучшить качество жизни] / Juying Electronic : [website]. – 2023. – URL: <https://www.juyingele.com/news/3588.html> (дата обращения 04.09.2025). – (На китайском яз.).
13. Хлопцов, Д. М. Эколого-экономическая оценка объектов «зелёного строительства» / Д. М. Хлопцов, М. А. Губанищева. – DOI 10.24411/2072-4098-2018-10111 // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2018. – № 11 (206). – С. 6–12.
14. Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла / Т. А. Ахмеров, В. С. Беляев, А. В. Спиридонов, И. Л. Шубин // Энергосбережение. – 2013. – № 4. – С. 36–46.
15. Li, Zhigang. 建筑节能技术在绿色建筑中的集成应用研究 [Исследование комплексного применения строительных энергосберегающих технологий в экологически чистых зданиях] / Li Zhigang // Журнальная сеть Shandong Huameng Construction Engineering [www.qikanchina.com]. – 2025. – URL: <https://www.qikanchina.com/thesis/view/9162029> (дата обращения 04.09.2025). – (На китайском яз.).

- and Smart Cities. – 2022. – № 4. – Pp. 133–135. – (In Chinese).
3. Ustojchivoe stroitel'stvo zdaniij. Mirovye trendy i perspektivy dlya Rossii issledovanie dlya PMEHF-2022 [Sustainable building construction. Global trends and prospects for Russia research for SPIEF-2022] / АНО «Natsional'nyj Tsentr GChP», АО «ДОМ.РФ» [АНО "National Center for PPP", JSC "DOM.RF"]. – Moscow, 2022. – URL: pppcenter.ru/upload/iblock/804/804ae66a9fe353e4a57a7d9a21c31cd9.pdf.
4. 蒋慧. 基于企业战略布局的地铁运营管理人力资源规划方案的研究 / 蒋慧. – DOI 10.69979/3029-2727.24.12.019 // 社会企业经济发展. – 2024. – Vol. 1, No. 12.

5. Green buildings: Requirements, features, life cycle, and relevant intelligent technologies / Yin Siyi, Wu Jinsong, Zhao Junhui, M. Nogueira, J. Lloret // Internet of Things and Cyber-Physical Systems. – 2024. – Vol. 4. – Pp. 307–317. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2024.09.002>.

6. Preimushhestva sistem sertifikatsii zdaniy [Advantages of building certification systems] / Tsentri issledovaniy i ehkologicheskogo inzhiniringa HPBS [HPBS Research and Environmental Engineering Centers] : [hpb-s.com]. – URL: <https://hpb-s.com/news/vigodi-ot-sertifikaczii-zdaniy/>.

7. Ustojchivoe stroitel'stvo zdaniy [Sustainable construction of buildings] / S. N. G. N. Sheina, R. N. V. N. Balashev, G. N. A. N. Zhivoglyadov, R. N. According to J. Shaikhiev // Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2023. – No. 12. – URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_77__12_Shahiev.pdf_f24a069200.pdf.

8. Wu, Xiaoming. Cost analysis and optimization of the entire project lifecycle within the framework of a construction project / Wu Xiaoming // Журральная сеть Shandong Huameng Construction Engineering [www.qikanchina.com]. – 2024. – URL: <https://www.qikanchina.com/thesis/view/8654402> (accessed: 04.09.2025).

9. Xie, Wanjun. Research on the economic evaluation of energy-saving technology of green buildings based on the whole life cycle / Xie Wanjun, Li Xiaojuan // Shanghai Energy Conservation. – 2021. – No. 8. – Pp. 832–838.

10. Zakharova, T. V. Zelyonaya ehkonomika i ustojchivoe razvitie Rossii: protivorechiya i perspektivy [Green economy and sustainable development of Russia: contradictions and prospects] / T. V. Zakharova // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. EHkonomika [Bulletin of Tomsk State University. Economy]. – 2015. – No. 2 (30). – Pp. 116–126.

11. Han, Chunyuan. Analysis of the economic benefits of green buildings based on the cost of the whole life cycle / Han Chunyuan // Building materials technology and application. – 2020. – No. 6. – Pp. 49–51.

12. 绿色建筑的优缺点、经济效益、如何提高生活质量? [Advantages and disadvantages of green buildings: economic benefits and how to improve the quality of life] / Juying Electronic : [website]. – 2023. – URL: <https://www.juyingele.com/news/3588.html> (accessed: 04.09.2025). – (In Chinese).

13. Khloptsov, D. M. Ehkologo-ehkonomicheskaya otsenka ob'ektov «zelyonogo stroitel'stva» [Ecological and economic assessment of "green construction" facilities] / D. M. Khloptsov, M. A. Gubanishcheva. – DOI 10.24411/2072-4098-2018-10111 // Imushhestvennye otnosheniya v Rossijskoj Federatsii [Property relations in the Russian Federation]. – 2018. – No. 11 (206). – Pp. 6–12.

14. Sistema aktivnogo ehnergoberezheniya s rekuperatsiej tepla [Active energy saving system with heat recovery] / T. A. Akhmerov, V. S. Belyaev, A.V. Spiridonov, I. L. Shubin // Ehnergoberezhenie [Energy saving]. – 2013. – No. 4. – Pp. 36–46.

15. Li, Zhigang. 建筑节能技术在绿色建筑中的集成应用研究 [A study of the integrated application of energy-saving construction technologies in environmentally friendly buildings] / Li Zhigang // Shandong Huameng Construction Engineering [www.qikanchina.com]. – 2025. – URL: <https://www.qikanchina.com/thesis/view/9162029> (accessed: 04.09.2025). – (In Chinese).

УДК 693.621:692.2:691.55

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_112

Совершенствование технологии штукатурных работ с применением безмаячного метода в контексте цифровой трансформации строительства

Improving the Technology of Plastering Works Using a Non-Lighthouse Method in the Context of the Digital Transformation of Construction

Шаленный Василий Тимофеевич

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология, организация и управление строительством», Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» (КФУ им. В. И. Вернадского), Россия, 295007, Республика Крым, Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4, v_shalennyj@mail.ru

Shalenny Vasily Timofeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology, Organization and Management of Construction, Institute "Academy of Construction and Architecture", V. I. Vernadsky Crimean Federal University (CFU named after V. I. Vernadsky), Russia, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Academician Vernadsky prospekt, 4, v_shalennyj@mail.ru

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, cniontp@mail.ru

Oleinik Pavel Pavlovich

Doctor of Technical Sciences, 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, cniontp@mail.ru

Пахомова Лилия Алексеевна

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, liliya_7172@mail.ru

Pakhomova Lilia Alekseevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate 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, liliya_7172@mail.ru

Замша Олег Николаевич

Аспирант Института «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» (КФУ им. В. И. Вернадского), Россия, 295007, Республика Крым, Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4, belkhome@mail.ru

Zamsha Oleg Nikolaevich

Postgraduate student of the Institute "Academy of Construction and Architecture", V. I. Vernadsky Crimean Federal University (CFU named after V. I. Vernadsky), Russia, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Academician Vernadsky prospekt, 4, belkhome@mail.ru

Таджиев Алим Шевкетович

Аспирант Института «Академия строительства и архитектуры» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» (КФУ им. В. И. Вернадского), Россия, 295007, Республика Крым, Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4, tadzhiev2009@mail.ru

Tadzhiev Alim Shevketovich

Postgraduate student of the Institute "Academy of Construction and Architecture", V. I. Vernadsky Crimean Federal University (CFU named after V. I. Vernadsky), Russia, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Academician Vernadsky prospekt, 4, tadzhiev2009@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации штукатурных работ через внедрение инновационных технологий, снижающих трудоёмкость и стоимость процессов. В условиях цифровизации строительной отрасли особую значимость приобретает интеграция традиционных методов с BIM-технологиями для совершенствования системы оценки объектов недвижимости на всех этапах жизненного цикла.

В статье представлены результаты производственных испытаний запатентованной технологии выполнения высококачественной штукатурки с применением рамочной оснастки.

Abstract. The relevance of the study is due to the need to optimize plastering work through the introduction of innovative technologies that reduce the complexity and cost of processes. In the context of the digitalization of the construction industry, the integration of traditional methods with BIM technologies is of particular importance to improve the real estate valuation system at all stages of the life cycle.

The article presents the results of production tests of a patented technology for making high-quality plaster using frame tooling. A comparative analysis with the traditional plastering

Введение

Современные тенденции развития строительной отрасли демонстрируют возрастающую роль цифровых технологий в оптимизации производственных процессов. Анализ мирового опыта [1–3] свидетельствует о необходимости внедрения инновационных решений в технологию штукатурных работ, которые остаются одной из наиболее трудоёмких операций в строительстве. Несмотря на развитие средств механизации, доля ручного труда в штукатурных работах превышает 60 % [4], что обуславливает актуальность исследований в данном направлении.

Интеграция BIM-технологий в процессы оценки недвижимости позволяет создавать цифровые двойники объектов, обеспечивающие точный расчёт ресурсов и контроль качества на всех этапах жизненного цикла [5–10]. В этом контексте разработка и внедрение эффективных технологий штукатурных работ приобретает особую значимость для совершенствования системы оценки строительных объектов.

Проведён сравнительный анализ с традиционной технологией оштукатуривания по стальным маякам. Установлено, что предлагаемый метод позволяет снизить себестоимость на 23–30 % и трудоёмкость на 22 %. Особое внимание уделено потенциалу интеграции технологии в BIM-моделирование для повышения точности калькуляции ресурсов и оптимизации жизненного цикла отделочных работ.

Ключевые слова: штукатурные работы; безмаячная технология; BIM-моделирование; снижение материалоёмкости; жизненный цикл объекта; цифровизация строительства.

technology of steel lighthouses has been carried out. It was found that the proposed method reduces the cost by 23–30 % and the labor intensity by 22 %. Special attention is paid to the potential of integrating technology into BIM modeling to improve the accuracy of resource calculation and optimize the life cycle of finishing works.

Keywords: plastering; lighthouse-free technology; BIM modeling; reduction of material consumption; object lifecycle; digitalization of construction.

Современное состояние и перспективы развития технологии штукатурных работ в контексте цифровой трансформации строительства

Анализ современных тенденций в области производства штукатурных работ демонстрирует устойчивую тенденцию к интеграции традиционных методов с передовыми цифровыми технологиями. Согласно исследованиям, представленным в немецком справочнике [11], европейский опыт свидетельствует об активном внедрении автоматизированных систем контроля качества, совместимых с BIM-платформами. Это позволяет не только оптимизировать производственные процессы, но и создавать точные цифровые двойники объектов для последующего управления объектами на всех этапах их жизненного цикла.

В работе Андреевой Е. А. [2] подчёркивается, что современные требования к качеству отделочных работ напрямую связаны с необходимостью обеспечения точного соответствия исполнительной документации проектным значениям. Механизация процессов с использованием

штукатурных станций Knauf PFT G4 [12; 13] демонстрирует не только повышение производительности, но и значительное улучшение точности работ, что является критически важным для интеграции с системами информационного моделирования.

Особый интерес представляет исследование Верстова В. В. [3], в котором детально анализируются процессы устройства монолитных штукатурных покрытий. Автор отмечает, что применение современных гипсовых смесей в сочетании с цифровыми методами контроля позволяет достичь результата, когда возможные отклонения не превышают 1-2 мм от проектных значений, что соответствует требованиям BIM-стандартов.

Перспективным направлением развития отрасли является внедрение роботизированных комплексов. Как показывают исследования Шарапова Р. Р. [4], современные роботы-штукатуры способны не только автоматически наносить смеси, но и интегрироваться с системами лазерного сканирования для непрерывного контроля качества. Однако, как справедливо отмечают Шихов Н. С. [14] и Шарапов Р. Р. [15], большинство отечественных разработок в этой области пока находится на стадии экспериментальных исследований и требует значительных капиталовложений.

Важным аспектом современных исследований является разработка методик оценки экономической эффективности внедрения новых технологий. В работе Гумеровой Э. И. [12] предложена комплексная методика расчёта приведённых затрат, учитывающая как прямые расходы на материалы и оборудование, так и косвенные эффекты от повышения точности работ и снижения сроков выполнения.

Особого внимания заслуживает исследование Смышляевой Е. Г. [6], посвящённое применению BIM-технологий для оптимизации процессов отделочных работ. Автор демонстрирует, что использование информационного моделирования позволяет снизить объём непредвиденных работ на 15–20 % за счёт точного расчёта необходимых материалов и выявления потенциальных конфликтов на ранних стадиях проектирования.

В контексте управления жизненным циклом объекта значительный интерес представляет работа Федосова С. В. [8], где детально анализируются возможности цифровых двойников для прогнозирования эксплуатационных характеристик оштукатуренных поверхностей. Разработанная автором методика позволяет с точностью до 95 % прогнозировать необходимость проведения ремонтных работ на различных этапах эксплуатации здания.

Инновационным направлением является исследование Пименова С. И. [9], посвящённое декомпозиции цифровых информационных моделей для задач организационно-технологического моделирования. Предложенный автором подход позволяет детализировать процессы штукатурных работ до уровня отдельных операций, что значительно повышает точность калькуляции ресурсов и времени.

Перспективы развития отрасли, как показано в работе Сокольниковой В. В. [10], связаны с созданием комплексных систем оперативного управления производственными процессами на основе данных цифрового мониторинга. Такие системы позволяют в реальном времени

отслеживать выполнение работ и вносить корректировки в технологические процессы.

Значительным потенциалом обладает использование промышленных отходов в производстве сухих строительных смесей, как это описано в исследовании Чередниченко Т. Ф. [16]. Разработанные авторами составы не только снижают экологическую нагрузку, но и демонстрируют улучшенные эксплуатационные характеристики.

Особого внимания заслуживают работы по аддитивным технологиям в строительстве [17; 18], где рассматриваются перспективы 3D-печати строительных конструкций. Как показывают исследования Адамцевич Л. А., эти технологии открывают новые возможности для создания сложных геометрических форм, однако требуют разработки специализированных решений для последующей отделки.

В контексте оценки объектов недвижимости важным является исследование Кожемяки С. В. [19], где предложена методика точного расчёта расхода материалов с учётом качества поверхности основания. Эта методика позволяет существенно повысить точность сметных расчётов и оптимизировать процессы планирования ресурсов.

Проведённый анализ научно-технической литературы и патентных источников, включая наши предыдущие исследования [20], свидетельствует о формировании новых подходов к совершенствованию штукатурных технологий. Особенностью современного этапа является интеграция традиционных производственных процессов с цифровыми системами управления, что создаёт предпосылки для принципиального изменения методологии оценки объектов недвижимости.

В отличие от традиционных методов, ориентированных преимущественно на стоимостные показатели, современные разработки в области штукатурных работ всё чаще включают:

- системы лазерного сканирования поверхностей;
- автоматизированный контроль толщины покрытий;
- цифровую фиксацию технологических параметров.

Эти инновации позволяют формировать детализированные базы данных для последующей интеграции в BIM-модели объектов [21].

Как показано в наших предыдущих исследованиях [20], создание цифровых двойников технологических процессов открывает новые возможности для:

- прогнозирования эксплуатационных характеристик отделочных покрытий;
- оптимизации сроков проведения ремонтных работ;
- точного расчёта жизненного цикла конструкций.

Особый интерес представляет разработка алгоритмов корреляции между технологическими параметрами штукатурных работ и стоимостью объектов недвижимости.

Проведённый анализ патентных источников показывает рост числа решений, направленных на:

- автоматизацию контроля качества отделочных работ;
- создание систем предиктивного обслуживания;
- разработку цифровых паспортов отделочных покрытий.

Перспективным направлением является создание комплексных систем управления, объединяющих данные о технологических параметрах штукатурных работ с финансовыми моделями оценки недвижимости. Это позво-



Рис. 1. Монтаж инновационной оснастки и проверка её положения
Fig. 1. Installation of innovative equipment and checking its position

лит перейти от традиционных методов сметного расчёта к динамическим моделям оценки, учитывающим реальные показатели качества и долговечности отделочных покрытий.

Таким образом, современные исследования демонстрируют комплексный подход к совершенствованию технологии штукатурных работ, сочетающий традиционные методы с передовыми цифровыми решениями. Предлагаемая в данном исследовании технология с рамочной оснасткой представляет собой практическую реализацию этого подхода, обеспечивая совместимость с BIM-системами и возможность интеграции в современные системы управления строительством.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработка и экспериментальная апробация ресурсосберегающей технологии производства высококачественной штукатурки стен и перегородок с использованием инновационного технологического оснащения, обеспечивающей снижение трудоёмкости и себестоимости работ, а также формирование цифровой базы данных для интеграции в систему оценки объектов недвижимости на основе BIM-технологий.

Задачи исследования:

1. Разработать и экспериментально апробировать технологию выполнения штукатурных работ с применением запатентованного рамочного устройства на опытном участке стены из газобетонных блоков с комплексной фиксацией организационно-технологических, временных и ресурсных параметров.

2. Провести сравнительный анализ эффективности предложенной технологии и традиционного метода оштукатуривания по стальным оцинкованным маякам по следующим показателям:

- трудоёмкость производственных операций;
- расход материалов на единицу площади;
- продолжительность выполнения работ;
- себестоимость квадратного метра покрытия.

3. Разработать методику цифрового учёта и контроля параметров штукатурных работ для последующей интеграции в BIM-модели объектов недвижимости, включая:

- создание библиотеки параметрических компонентов;
- формирование базы данных ресурсных показателей;
- разработку алгоритмов оценки качества выполнения работ.

4. Оценить потенциал внедрения предложенной технологии в систему управления жизненным циклом объектов недвижимости через:

- анализ совместимости с существующими BIM-стандартами;
- оценку возможности автоматизации контроля качества;
- разработку рекомендаций по оптимизации сметной документации.

Объект исследования – организационно-технологический процесс производства штукатурных работ с применением инновационного рамочного устройства, обеспечивающего возможность цифрового контроля параметров и интеграции с системами информационного моделирования.

Предмет исследования – временные, ресурсные и экономические показатели предлагаемой технологии в сравнении с традиционным методом оштукатуривания по стальным маякам, а также их влияние на точность оценки и управления объектами недвижимости на различных этапах жизненного цикла с применением BIM-технологий.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились в летний период 2024 года на объекте индивидуального жилищного строительства в пригородной зоне г. Симферополя.

Особенностью методики стало комплексное документирование процесса с применением цифровых тех-



Рис. 2. Нанесение, разравнивание раствора правилом и готовая под окончательную отделку оштукатуренная поверхность перегородки с использованием предложенной технологической оснастки – штукатурной рамки
Fig. 2. Application, leveling of the mortar according to the rule and the plastered surface of the partition ready for final finishing using the proposed technological equipment - a plaster frame

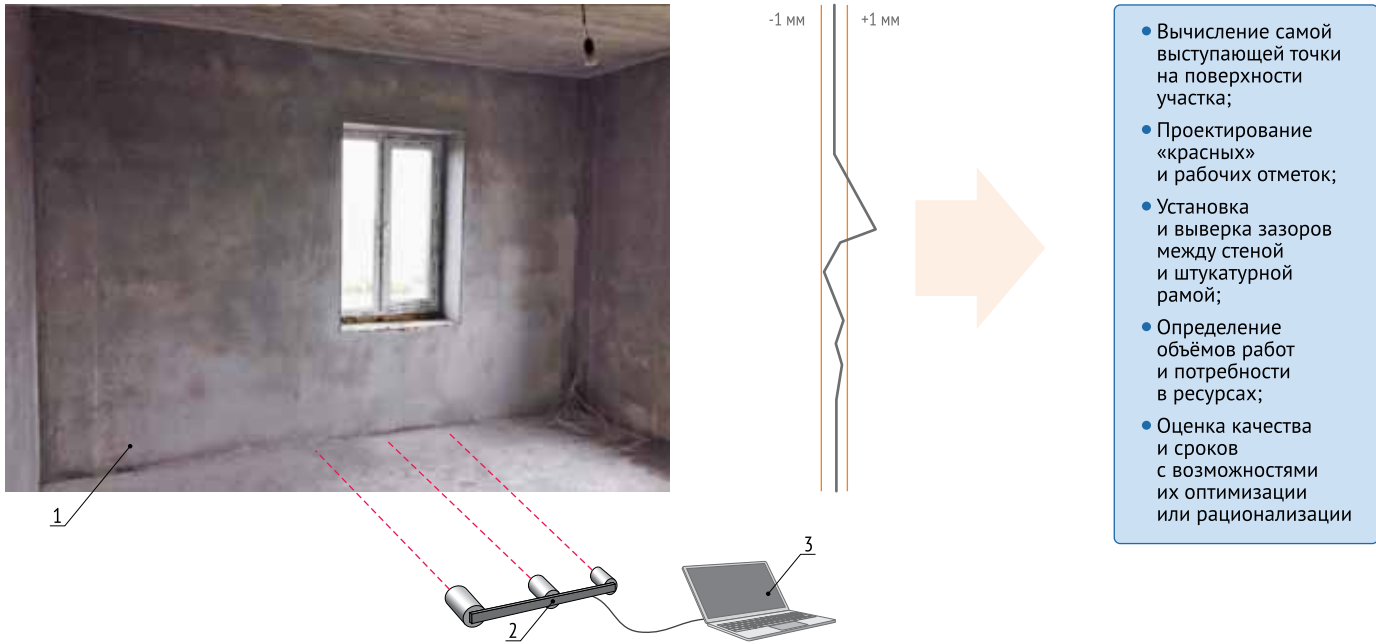


Рис. 3. Автоматизация подготовки оштукатуривания и контроль его качества по методике Астраханского ГАСАСУ для BIM-модели процесса и его рационализации: 1) поверхность стены, 2) блок датчиков расстояний и углов; 3) персональный компьютер
Fig. 3. Automation of plastering preparation and quality control according to the Astrakhan GASASU method for the BIM model of the process and its rationalization: 1) wall surface, 2) block of distance and angle sensors; 3) personal computer

нологий контроля качества. Все этапы работ, включая подготовительные операции (рисунок 1) и нанесение выравнивающих слоёв (рисунок 2), фиксировались с помощью системы многоакурной видеосъёмки с последующей компьютерной обработкой временных параметров технологических процессов.

Подготовительный этап включал применение лазерного сканирующего оборудования для создания цифровой модели поверхности ограждающей конструкции (рисунок 3). Трёхмерное сканирование позволило идентифицировать зоны максимального отклонения плоскости стены и оптимизировать расположение монтажных элементов. Разметочные операции выполнялись с использованием шаблонов на основе элементов штукатурной рамы, что обеспечило точность позиционирования анкерных креплений.

Технологической особенностью монтажа стало применение регулировочных анкерных систем с торцевым шестигранным углублением, позволивших точно позиционировать несущую раму относительно базовой плоскости. Калибровка положения осуществлялась посредством прецизионной регулировки гаек, обеспечивающей соблюдение проектного расстояния для формирования слоёв штукатурного покрытия заданной толщины.

Процесс приготовления раствора был оптимизирован за счёт использования стандартизированных ёмкостей и электроинструмента с калиброванными насадками. Нанесение штукатурной смеси производилось с применением комбинированной методики с последующим выравниванием специализированным алюминиевым правилом, адаптированным под геометрию рамы.

Результаты хронометражных наблюдений и измерения материальных затрат представлены на рисунке 4. Сравнительный анализ с традиционной технологией оштукатуривания по стальным маякам показал, что при использовании опытного образца рамы шириной 1,25 м удельная трудоёмкость составила 12,5 чел.-мин/м² против 11,1 чел.-мин/м² у традиционного метода. Однако моделирование для рамы шириной 2,0 м демонстрирует

снижение трудозатрат до 8,7 чел.-мин/м², что соответствует уменьшению трудоёмкости на 21,6 %.

Экономический анализ выявил значительное снижение материалоёмкости: стоимость материалов предложенной технологии составила 160 руб./м² против 248,6 руб./м² у традиционного метода. С учётом оптимизации трудовых затрат себестоимость квадратного метра покрытия снижается с 598,6 до 460 руб.

Важным аспектом исследования стала разработка методики интеграции параметров технологии в BIM-модели. Лазерное сканирование поверхностей до и после оштукатуривания позволило создать библиотеку отклонений для прогнозирования материальных и трудовых ресурсов. Установлено, что точность оценки потребности в материалах повышается на 23–25 % по сравнению с традиционными сметными методами.

Полученные данные демонстрируют потенциал технологии (рисунок 5) для совершенствования системы управления жизненным циклом отделочных работ. Цифровая регистрация параметров позволяет формировать базы данных для прогнозирования эксплуатационных характеристик и оптимизации затрат на содержание объектов недвижимости.

Перспективным направлением развития исследования является адаптация технологии для отделки поверхностей, полученных методом аддитивного строительства [17; 18], а также интеграция с системами автоматизированного контроля качества на основе машинного зрения.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие основные выводы:

1. Разработанная технология с применением инновационной рамочной оснастки демонстрирует значительный ресурсосберегающий потенциал, обеспечивая снижение себестоимости штукатурных работ на 23–30 % и сокращение трудоёмкости на 22 % при использовании конструкции шириной 2,0 м.

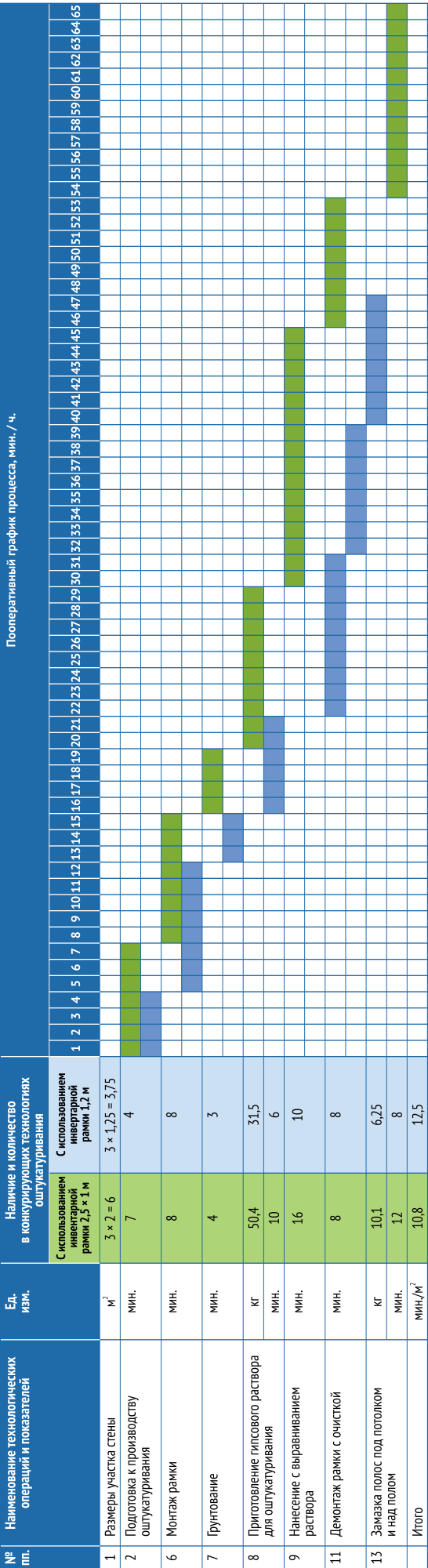
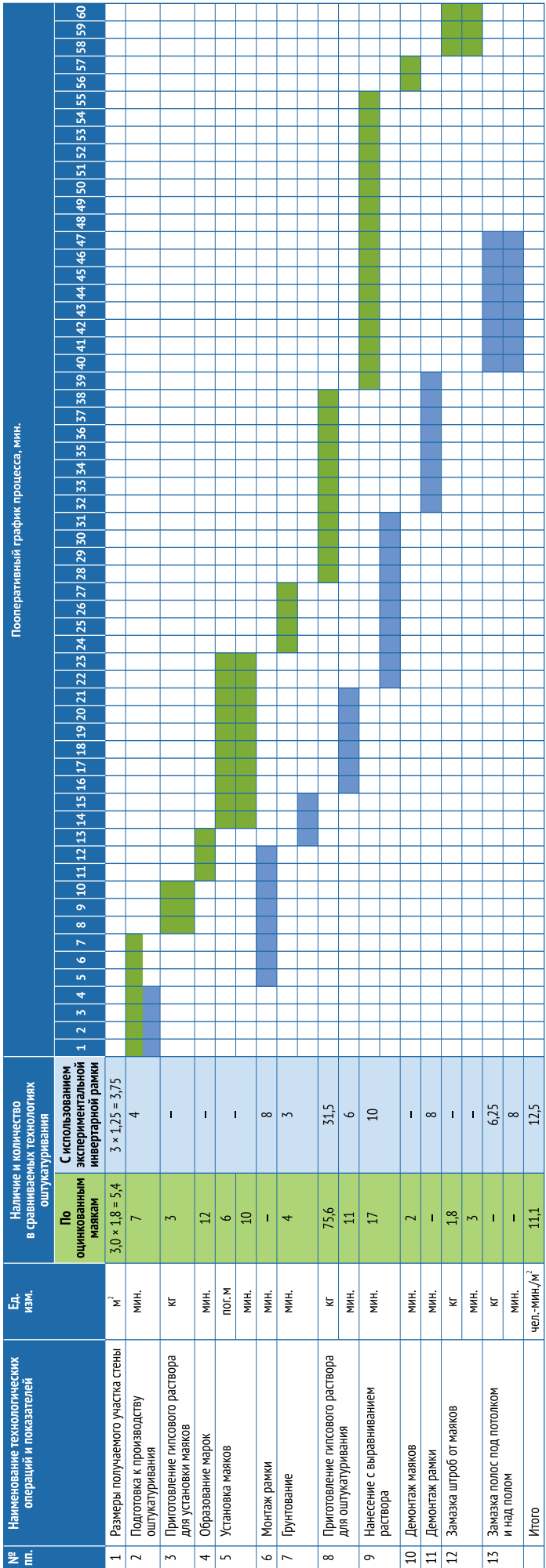


Рис. 4. Графики процесса и потребность в ресурсах при штукатурке по маякам и инновационной рамке (сверху) и рамкам разных размеров (внизу)
Fig. 4. Process graphs and resource requirements for plastering by beacons and innovative frames (top) and frames of different sizes (bottom)

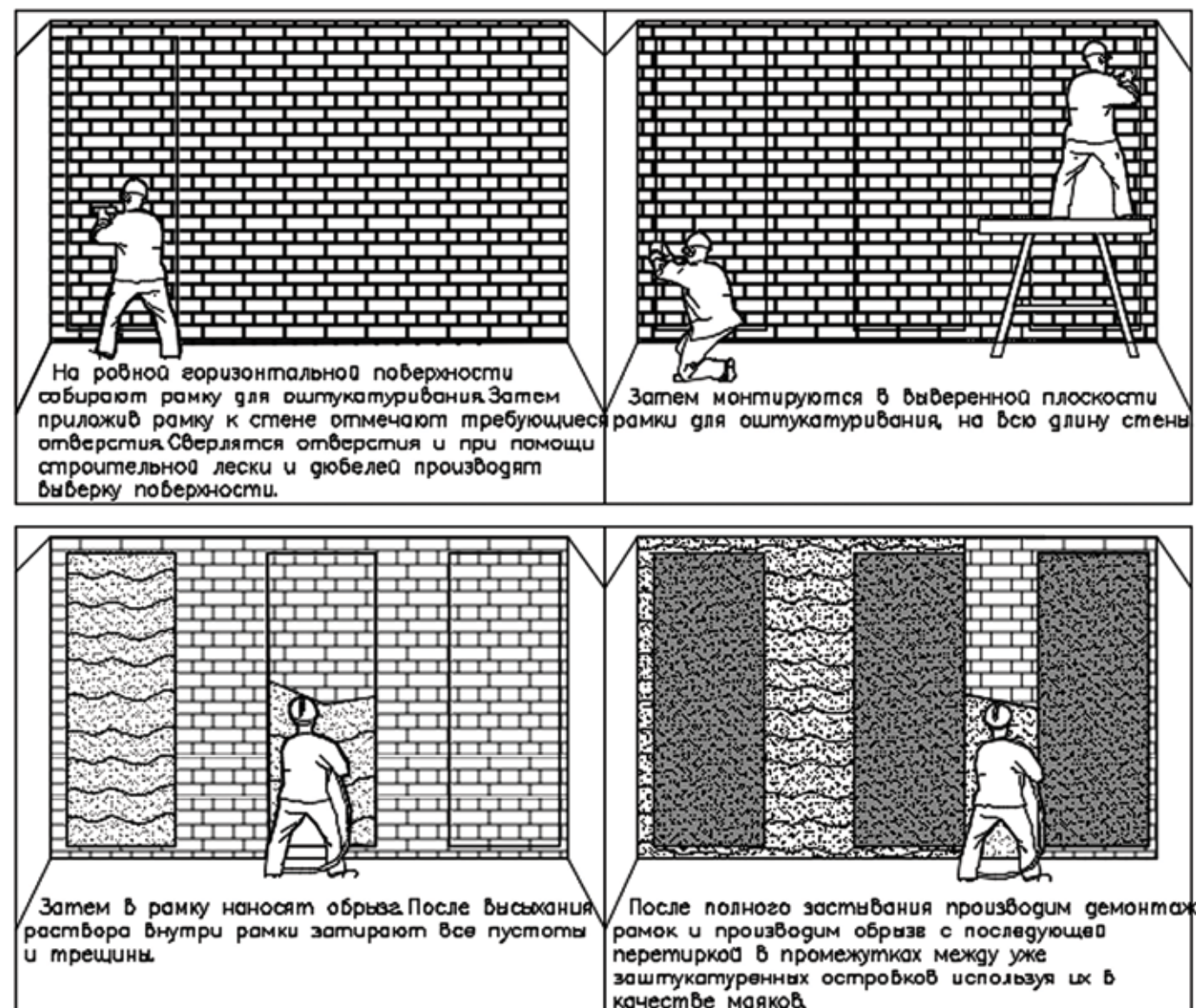


Рис. 5. Схема организации работ на стене по предлагаемой технологии
Fig. 5. Scheme of organizing work on the wall using the proposed technology

2. Экспериментально подтверждена возможность интеграции параметров технологического процесса в BIM-модели объектов недвижимости, что позволяет повысить точность калькуляции ресурсов на этапе проектирования на 23–25 % по сравнению с традиционными сметными методами.
 3. Предложенная методика лазерного сканирования поверхностей с последующей цифровой обработкой данных создаёт основу для формирования прогнозных моделей эксплуатационных характеристик оштукатуренных поверхностей на всём жизненном цикле объекта.
- Перспективные направления дальнейших исследований:
1. Разработка автоматизированной системы корреляции между параметрами штукатурного покрытия и эксплуатационными характеристиками объектов недвижимости с интеграцией в BIM-платформы.
 2. Создание отраслевого стандарта цифрового паспорта штукатурных работ, содержащего информацию о применяемых материалах, технологических параметрах и результатах контроля качества.

3. Разработка методики прогнозирования долговечности и эксплуатационных характеристик оштукатуренных поверхностей на основе алгоритмов машинного обучения с использованием данных цифрового мониторинга.
4. Адаптация технологии для применения в условиях реконструкции и капитального ремонта с учётом особенностей оценки существующих объектов недвижимости.
5. Создание системы оперативного контроля качества штукатурных работ с использованием компьютерного зрения и нейросетевых алгоритмов анализа изображений.
6. Разработка мобильного приложения для подрядных организаций с функцией автоматического расчёта потребности в материалах на основе BIM-моделей.

Реализация указанных направлений позволит создать комплексную систему управления качеством и затратами на отделочные работы на всём протяжении жизненного цикла объектов недвижимости, обеспечивающую значительный экономический эффект и повышение точности оценочной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахмистров, А. И. Индустриальное домостроение / А. И. Вахмистров. – Санкт-Петербург : Славутич, 2019. – 260с.
2. Андреева, Е. А. Анализ динамики производительности труда в строительной отрасли России / Е. А. Андреева // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 4 (63). – С. 243–250.
3. Верстов, В. В. Исследование процесса устройства монолитного штукатурного покрытия стен при отделке помещений гипсовыми смесями / В. В. Верстов, Д. Д. Тишкин // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 2 (23). – С. 109–114.
4. Шарапов, Р. Р. Некоторые проблемы динамики и надежности строительной техники / Р. Р. Шарапов, Б. А. Кайтуков, М. А. Степанов // Механизация строительства. – 2017. – Т. 78, № 7. – С. 5–8.
5. Шарапов Р. Р. Описание динамики вибрационного оштукатуривания вертикальных стен / Р. Р. Шарапов, Н. С. Шихов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 666–671.
6. Смышляева, Е. Г. Актуальность использования BIM-технологий в строительной отрасли / Е. Г. Смышляева // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 3. – С. 279–282.
7. Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года / Ред. А. А. Семёнов ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. – 381 с.
8. Федосов, С. В. Систематизация цифровых решений по обеспечению безопасных условий труда на основе информационных моделей объектов строительства / С. В. Федосов, Е. А. Король, М. О. Баканов // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. – № 29 (81). – С. 41–57.
9. Пименов, С. И. Уровни декомпозиции строительных цифровых информационных моделей (4D-моделей) для задач организационно-технологического моделирования строительного производства / С. И. Пименов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 2 (770). – С. 65–78.
10. Сокольников, В. В. Информатизация организации строительного производства и оперативного управления / В. В. Сокольников, М. В. Молодцов // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19, № 6. – С. 1006–1015.
11. Росс, Х. Штукатурка. Материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов : практическое руководство / Х. Росс, Ф. Шталь. – Пер. с нем. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : Квинтет, 2006. – 300 с.
12. Гумерова, Э. И. Способы производства штукатурных работ /

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vakhmistrov, A. I. Industrial'noe domostroenie [Industrial housing construction] / A. I. Vakhmistrov. – Saint Petersburg : Slavutich, 2019. – 260 p.
2. Andreeva, E. A. Analiz dinamiki proizvoditel'nosti truda v stroitel'noj otrasli Rossii [Analysis of labor productivity dynamics in the Russian construction industry] / E. A. Andreeva // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2017. – No. 4 (63). – Pp. 243–250.
3. Verstov, V. V. Issledovanie protsessu ustrojstva monolitnogo shtukaturnogo pokrytiya sten pri otdelke pomeshhenij gipsovymi smesyami [Investigation of the process of monolithic plaster coating of walls when finishing rooms with gypsum mixtures] / V. V. Verstov, D. D. Tishkin // Vestnik

- Э. И. Гумерова, О. С. Гамаюнова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 7 (46). – С. 7–16.
13. Завражин, Н. Н. Штукатурные работы высокой сложности : учебное пособие для нач. проф. образования / Н. Н. Завражин. – 2-е изд. – Москва : Издательский центр «Академия», 2010. – 192 с.
14. Шихов, Н. С. Обзор конструкций машин для штукатурки стен / Н. С. Шихов // Технологии бетонов. Сухие строительные смеси. – 2022. – № 4 (183). – С. 75–77.
15. Шихов, Н. С. Робот-штукатур, как средство механизации в строительстве / Н. С. Шихов, Р. Р. Шарапов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023: Сборник докладов IV Национальной научной конференции, Москва, 15 декабря 2023 года / Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет). – Москва : МГСУ, 2024. – С. 898–904.
16. Чередниченко, Т. Ф. Совершенствование современных технологий производства штукатурных работ / Т. Ф. Чередниченко, М. У. Мамиров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 4 (81). – С. 274–282.
17. Адамцевич Л. А., Аддитивное строительное производство: прошлое, настоящее, будущее / Л. А. Адамцевич, А. П. Пустовгар, А. О. Адамцевич. – DOI 10.31659/0044-4472-2024-8-3-10 // Жилищное строительство. – 2024. – № 8. – С. 3–10.
18. Адамцевич А. О., Аддитивное строительное производство: обзор мирового опыта / А. О. Адамцевич, Л. А. Адамцевич, А. П. Пустовгар. – DOI 10.33622/0869-7019.2023.12.83-97 // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 12. – С. 83–97.
19. Кожемяка, С. В. Определение расхода сухой смеси производства компании KNAUF при устройстве монолитных стяжек с учётом качества поверхности основания / С. В. Кожемяка // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – № 6 (146). – С. 27–31.
20. Шаленный, В. Т. Обоснование, разработка и изготовление экспериментального образца технологического оснащения улучшенной и высококачественной штукатурки стен и перегородок / В. Т. Шаленный, А. Ш. Таджиев, А. Э. Халилов // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. – № 31 (83). – С. 99–110.
21. Устойчивое развитие. Энерго- и ресурсосбережение. BIM-технологии в строительной отрасли : монография / С. Г. Шеина, И. Ю. Зильберова, А. А. Федоровская [и др.]; ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2022. – 166 с.

- grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2010. – No. 2 (23). – Pp. 109–114.
4. Sharapov, R. R. Nekotorye problemy dinamiki i nadezhnosti stroitel'noj tekhniki [Some problems of dynamics and reliability of construction machinery] / R. R. Sharapov, B. A. Kaitukov, M. A. Stepanov // Mekhanizatsiya stroitel'stva [Mechanization of construction]. – 2017. – Vol. 78, No. 7. – Pp. 5–8.
5. Sharapov R. R. Opisanie dinamiki vibratsionnogo oshtukaturivaniya vertikal'nykh sten [Description of the dynamics of vibrational plastering of vertical walls] / R. R. Sharapov, N. S. Shikhov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical sciences]. – 2024. – No. 3. – Pp. 666–671.

6. Smyshlyaeva, E. G. Aktual'nost' ispol'zovaniya BIM-tekhnologij v stroitel'noj otrasli [The relevance of using BIM technologies in the construction industry] / E. G. Smyshlyaeva // Byulleten' nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]. – 2022. – Vol. 8, No. 3. – Pp. 279–282.

7. Informatsionnoe modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury : Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 15–17 maya 2024 goda [Information modeling in the tasks of construction and architecture : Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, May 15-17, 2024] / Red. A. A. Semyonov ; Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arkhitekturno-stroitel'nyj universitet [Ed. by A. A. Semenov ; St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering]. – St. Petersburg : SPbGASU, 2024. – 381 p.

8. Fedosov, S. V. Sistematizatsiya tsifrovyykh reshenij po obespecheniyu bezopasnykh uslovij truda na osnove informatsionnykh modelej ob'ektov stroitel'stva [Systematization of digital solutions to ensure safe working conditions based on information models of construction sites] / S. V. Fedosov, E. A. Korol, M. O. Bakanov // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost' [Construction and technogenic safety]. – 2023. – No. 29 (81). – Pp. 41–57.

9. Pimenov, S. I. Urovni dekompozitsii stroitel'nykh tsifrovyykh informatsionnykh modelej (4D-modelej) dlya zadach organizatsionno-tehnologicheskogo modelirovaniya stroitel'nogo proizvodstva [Levels of decomposition of construction digital information models (4D models) for the tasks of organizational and technological modeling of construction production] / S. I. Pimenov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo [News of higher educational institutions. Construction]. – 2023. – No. 2 (770). – Pp. 65–78.

10. Sokolnikov, V. V. Informatizatsiya organizatsii stroitel'nogo proizvodstva i operativnogo upravleniya [Informatization of the organization of construction production and operational management] / V. V. Sokolnikov, M. V. Molodtsov // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2024. – Vol. 19, No. 6. – Pp. 1006–1015.

11. Ross, H. Shtukaturka. Materialy, tekhnika proizvodstva rabot, predotvrashchenie defektov : prakticheskoe rukovodstvo [Plaster. Materials, techniques of work, prevention of defects : a practical guide] / H. Ross, F. Stahl. – Per. s nem. [Translated from German]. – 3rd ed. – St. Petersburg : Quintet, 2006. – 300 p.

12. Gumerova, E. I. Sposoby proizvodstva shtukaturnykh rabot [Methods of plastering production] / E. I. Gumerova, O. S. Gamayunova // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij [Construction of unique buildings and structures]. – 2016. – No. 7 (46). – Pp. 7–16.

13. Zavrzhin, N. N. Shtukaturnye raboty vysokoy slozhnosti : uchebnoe posobie dlya nach. prof. obrazovaniya [Plastering works of high complexity : a textbook for the initial prof. education] / N. N. Zavrzhin. – 2nd ed. – Moscow : Izdatel'skij tsentr «Akademiya» [Publishing Center "Academy"], 2010. – 192 p.

14. Shikhov, N. S. Obzor konstruksij mashin dlya shtukaturki sten [Overview of the structures of machines for plastering walls] / N. S. Shikhov // Tekhnologii betonov. Sukhie stroitel'nye smesi [Technology of concrete. Dry building mixes]. – 2022. – No. 4 (183). – Pp. 75–77.

15. Shikhov, N. S. Robot-shtukatur, kak sredstvo mekhanizatsii v

stroitel'stve [Robot plasterer as a means of mechanization in construction] / N. S. Shikhov, R. R. Sharapov // Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya – 2023 : Sbornik dokladov IV Natsional'noj nauchnoj konferentsii, Moskva, 15 dekabrya 2023 goda [Actual problems of the construction industry and education – 2023 : Collection of reports of the IV National Scientific Conference, Moscow, 15 December 2023] / Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet (natsional'nyj issledovatel'skij universitet) [Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)]. – Moscow : MGSU, 2024. – Pp. 898–904.

16. Cherednichenko, T. F. Sovershenstvovanie sovremennykh tekhnologij proizvodstva shtukaturnykh rabot [Improvement of modern technologies for the production of plastering works] / T. F. Cherednichenko, M. U. Mamirgov // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. – 2020. – Iss. 4 (81). – Pp. 274–282.

17. Adamtsevich, L. A. Additivnoe stroitel'noe proizvodstvo: proshloe, nastoyashhee, budushhee [Additive construction production: past, present, future] / L. A. Adamtsevich, A. P. Pustovgar, A. O. Adamtsevich. – DOI 10.31659/0044-4472-2024-8-3-10 // Zhilishhnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2024. – No. 8. – Pp. 3–10.

18. Adamtsevich, A. O. Additivnoe stroitel'noe proizvodstvo: obzor mirovogo opyta [Additive construction production: a review of world experience] / A. O. Adamtsevich, L. A. Adamtsevich, A. P. Pustovgar. – DOI 10.33622/0869-7019.2023.12.83-97 // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. – 2023. – No. 12. – Pp. 83–97.

19. Kozhemyaka, S. B. Opredelenie raskhoda sukhoy smesi proizvodstva kompanii KNAUF pri ustrojstve monolitnykh styazhek s uchytom kachestva poverkhnosti osnovaniya [Determination of the consumption of a dry mixture produced by KNAUF when installing monolithic screeds, taking into account the surface quality of the base] / S. V. Kozhemyaka // Vestnik Donbasskoj natsional'noj akademii stroitel'stva i arkhitektury [Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture]. – 2020. – No. 6 (146). – Pp. 27–31.

20. Shalennyj, V. T. Obosnovanie, razrabotka i izgotovlenie ehksperimental'nogo obraztsa tekhnologicheskogo osnashheniya uluchshennoj i vysokokachestvennoj shtukaturki sten i peregorodok [Substantiation, development and manufacture of an experimental sample of technological equipment for improved and high-quality plaster of walls and partitions] / V. T. Shalennyj, A. Sh. Tajiev, A. E. Khalilov // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost' [Construction and technogenic safety]. – 2023. – No. 31 (83). – Pp. 99–110.

21. Ustojchivoe razvitie. Ehnergo- i resursosbezhenie. BIM-tekhnologii v stroitel'noj otrasli : monografiya [Sustainable development. Energy and resource conservation. BIM technologies in the construction industry : a monograph] / S. G. Sheina, I. Y. Zilberova, A. A. Fedorovskaya [and others]; FGBOU VO «Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» [Donskoy State Technical University]. – Rostov-on-Don : DSTU, 2022. – 166 p.

УДК 69.01

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_121

Разработка рациональной системы документооборота при управлении заданной строительной организацией

Development of a Rational Document Management System for the Management of a Given Construction Organization

Синенко Сергей Анатольевич

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, sasin50@gmail.com

Sinenko Sergey Anatolyevich

Doctor of Technical Sciences, 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, sasin50@gmail.com

Пономарева Полина Александровна

Магистр кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, www.polina.2015@mail.ru

Ponomareva Polina Alexandrovna

Master 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, www.polina.2015@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – разработка и внедрение рациональной системы безбумажного документооборота для строительной организации, обеспечивающей повышение эффективности управления, снижение затрат и соответствие нормативным требованиям.

Методология включает системный анализ, моделирование бизнес-процессов, интеграцию с BIM-платформами и средой общих данных (CDE), а также поэтапное внедрение с пилотным тестированием.

Результаты показывают, что внедрение системы позволяет сократить время согласований на 40–50 %, снизить операционные затраты на 20–30 %, обеспечить юридическую значимость

Abstract. The purpose of the study is the development and implementation of a rational paperless document management system for a construction organization, aimed at increasing management efficiency, reducing costs, and ensuring compliance with regulatory requirements.

The methodology includes system analysis, business process modeling, integration with BIM platforms and a common data environment (CDE), as well as phased implementation with pilot testing.

The results demonstrate that the system implementation reduces approval time by 40–50 %, lowers operational costs by

Введение

Строительная отрасль исторически опиралась на бумажные носители, однако рост масштаба проектов, распределённость участников, регуляторная сложность и требования к прослеживаемости качества вывели на первый план необходимость цифрового переосмысления документооборота [1]. Для организации, руководящей несколькими площадками и координирующей проектировщиков, подрядчиков, поставщиков и службу техзаказчика, бумажная модель становится тормозом: время на согласование актов и форм отчётности растёт, контроль статусов размывается, а риски регуляторных несоответствий и потери данных усиливаются [2]. Рациональная система безбумажного документооборота призвана устранить эти структурные ограничения, обеспечивая юридическую значимость, управляемость и измеримую эконо-

документов и улучшить прозрачность процессов. Система также способствует экологической устойчивости за счёт сокращения использования бумаги.

Выводы: рациональная безбумажная система документооборота является ключевым элементом цифровой трансформации строительных организаций, обеспечивающим долгосрочную конкурентоспособность и соответствие отраслевым стандартам.

Ключевые слова: безбумажный документооборот; строительная организация; электронная подпись; BIM-интеграция; эффективность управления; снижение затрат; нормативные требования; цифровая трансформация.

20–30 %, ensures the legal significance of documents, and improves process transparency. The system also contributes to environmental sustainability by reducing paper use.

Conclusions: a rational paperless document management system is a key element of the digital transformation of construction organizations, ensuring long-term competitiveness and compliance with industry standards.

Keywords: paperless document management; construction organization; electronic signature; BIM integration; management efficiency; cost reduction; regulatory requirements; digital transformation.

мическую эффективность [3]. Актуальность обоснована нормативной базой (федеральные законы об электронной подписи, приказы Минстроя) и подтверждёнными на практике отраслевыми преимуществами, такими как многократное ускорение согласований и снижение рисков.

Объектом исследования выступает документооборот строительной организации как совокупность процессов создания, согласования, передачи, хранения и архивирования документированных сведений по объектам капитального строительства. Предмет исследования – разработка и внедрение рациональной системы безбумажного документооборота, ориентированной на специфику строительного производства, распределённость контуров ответственности и насыщенность нормативными требованиями [2]. Исследовательская гипотеза заключается в

том, что при целевом проектировании и поэтапной реализации такой системы достигается существенное повышение эффективности управления за счёт сокращения циклов согласования, улучшения прозрачности и управляемости процессов, а также снижения прямых и косвенных затрат на обработку и хранение документов, при одновременном снижении регуляторных и операционных рисков [3].

Методологическая база исследования синтезирует системный анализ, моделирование бизнес-процессов и подходы к оптимизации потоков работ в многосторонних проектах.

Теоретическая основа опирается на наработки в области управления документацией в строительстве, принципы информационной безопасности, практики проектирования жизненного цикла документа, а также современные технологические парадигмы, включая интеграцию со средой общих данных (CDE), BIM-моделями и CAD-системами, что обеспечивает единый контекст для источников данных и трассируемость изменений в документах по мере развития проектных решений [4]. Такой фундамент оправдан: без опоры на процессные модели и регламентированные роли сложно добиться повторяемости циклов согласования, а без встраивания в экосистему проектных данных – обеспечить актуальность записей и устранить дублирование [5].

Практическая значимость темы для строительной организации проявляется на нескольких уровнях. На уровне оперативного управления сокращается время на маршрутизацию документов и устраняются узкие места за счёт автоматических напоминаний, цифровых шаблонов и ролей доступа; на уровне контроля качества обеспечивается прозрачность истории согласований и юридическая значимость подписей; на уровне соблюдения требований улучшается управляемость номенклатурой исполнительной документации и сроками её готовности к приёмке [6].

Нормативные документы – от приказов профильного ведомства по составу исполнительной документации до стандартов по электронному документообороту (ЭДО) и геодезическим исполнительным материалам – задают рамку, внутри которой цифровая система может безопасно и легитимно функционировать на всех стадиях создания и эксплуатации объекта [1].

Выбор организационной модели становится центральным вопросом при построении рациональной системы документооборота, от которого зависят его масштабируемость, безопасность и итоговая эффективность. С практической точки зрения значимыми являются безбумажные контуры для актов, журналов работ, исполнительных схем и протоколов испытаний, а также их связка с едиными классификаторами, справочниками материалов и конструктивных элементов. Внедрение юридически значимых сценариев подписания и разграничение прав доступа по ролям обеспечивают защиту персональных данных и коммерческой тайны, а внутрикорпоративные политики резервного копирования и мониторинга событий подтверждают устойчивость к инцидентам информационной безопасности, что прямо следует из совокупности требований законодательства и отраслевых стандартов [3].

Вектор на интеграцию с проектными платформами, о чём говорится в аналитической части исследования, критичен для сокращения разрывов между рабочей документацией, исполнительными материалами и отчётностью:

связка CDE/BIM – ЭДО уменьшает дуближи, упрощает формирование пакетных сборок для надзора и ускоряет переход к приёмке за счёт автоматического подтягивания данных об объёмах и результатах испытаний [4].

В качестве ключевых метрик эффективности рассматриваются сокращение времени согласований, снижение затрат на архивное хранение и снижение риска потери документов, что иллюстрируется сопоставительными показателями и отражает управленческую пользу для заказчика и генерального подрядчика в части контроля сроков и качества исполнения обязательств [1]. Эти метрики не замкнуты на технологию, они конвертируются в улучшение предсказуемости графиков, сокращение издержек некачественной документации и более уверенное прохождение процедур приёмки надзорными органами, поскольку цифровой архив обеспечивает воспроизводимость и полноту представления сведений, а встроенные проверки соответствия снижают риск обнаружения критичных несоответствий на поздних стадиях [2].

Таким образом, предмет исследования находится на пересечении сфер управления проектами, правового регулирования и информационных технологий. Целью является разработка и практическая проверка концепции рациональной безбумажной системы документооборота, интегрированной с производственными процессами строительной организации и отвечающей критериям эффективности, безопасности и удобства использования. Для её достижения последовательно решаются задачи анализа текущей практики, определения критериев качества и «рациональности», выбора и настройки программно-технической платформы с учётом нормативных ограничений, проведения пилотной апробации и масштабного внедрения с включённой системой метрик и обратной связи.

Основная часть

Современное понимание документооборота в строительной организации невозможно ограничить лишь перемещением бумажных носителей между отделами. В научной литературе под системой документооборота всё чаще подразумевается совокупность управленческих, организационных и технологических процедур, охватывающих полный жизненный цикл документа – от момента его создания до передачи в архив или удаления [1]. При этом ключевое внимание уделяется не только юридической значимости и сохранности информации, но и её доступности, актуальности и управляемости в контексте комплексных строительных проектов [2].

В условиях цифровизации экономики важным направлением становится внедрение безбумажных технологий. Этот термин охватывает использование электронных платформ, облачных сервисов и специализированных программных решений, обеспечивающих формирование, хранение и обмен документами в электронном виде с применением юридически значимой электронной подписи [3]. В строительстве к числу наиболее востребованных функций относятся: ведение исполнительной документации в цифровой форме, автоматическое формирование актов приёмки, электронное согласование предписаний надзорных органов, контроль исполнения договорных обязательств [4].

Переход к безбумажному документообороту неразрывно связан с развитием законодательства. С одной стороны, федеральные законы об электронной подписи,

о защите информации и персональных данных, а также Градостроительный кодекс РФ формируют правовую основу для легитимного использования электронных документов. С другой стороны, отраслевые нормативы (СП, СНиП, ГОСТы и ведомственные приказы) постепенно внедряют возможность ведения исполнительной документации в электронном виде [5]. Так, приказ Минстроя России от 19 апреля 2022 года закрепил правила ведения электронного исполнительного документооборота на объектах капитального строительства [6].

Международный опыт также демонстрирует широкое распространение безбумажных технологий в строительной индустрии. В странах ЕС и Северной Америки цифровые системы управления документами интегрированы в BIM-среды, что позволяет контролировать не только текущее состояние документации, но и связать её с цифровой моделью объекта [1]. Таким образом, каждый документ существует в контексте определённого элемента здания или сооружения, что повышает точность и управляемость всего процесса строительства [2].

В научной и прикладной литературе всё чаще используется термин «рациональная система документооборота». Под ним понимается система, в которой обеспечен баланс между тремя ключевыми характеристиками:

- 1) эффективностью – способностью системы сокращать сроки обработки документов и снижать трудоёмкость процессов [6];
- 2) надёжностью и безопасностью – гарантией сохранности данных, их юридической значимости и защищённости от несанкционированного доступа [1];
- 3) удобством эксплуатации – доступностью интерфейса, интегрированностью в бизнес-процессы и минимизацией сопротивления пользователей [2].

Такое определение «рациональности» задаёт основу для дальнейших исследований и проектирования систем ЭДО, применимых к строительным организациям. Оно позволяет оценивать не только технические параметры, но и управленческие эффекты, включая экономическую эффективность, прозрачность контроля и снижение регуляторных рисков [3].

При рассмотрении документооборота в строительстве важно опираться на междисциплинарные подходы. Системный анализ позволяет рассматривать документооборот как комплекс взаимосвязанных процессов. Методы моделирования бизнес-процессов дают возможность формализовать движение документов, выявить узкие места и точки оптимизации. Таким образом, теоретическая основа исследования показывает, что переход к рациональной системе безбумажного документооборота является не просто технологическим обновлением, а стратегическим направлением цифровой трансформации строительных организаций. Он опирается на нормативную базу, международный опыт и накопленные научные разработки, но требует адаптации к российской специфике и учёта отраслевых ограничений [5].

Построение рациональной системы безбумажного документооборота в строительной организации требует соблюдения ключевых принципов, обеспечивающих её эффективность, безопасность и удобство. Эти принципы основаны на анализе современных тенденций цифровизации и учитывают специфику отрасли, включая распределённость проектов и строгие нормативные требования [7].

Во-первых, принцип эффективности подразумевает минимизацию времени на обработку документов за счёт автоматизации. Система должна поддерживать автоматическую маршрутизацию, шаблоны форм и интеграцию с BIM-платформами для обновлений в реальном времени [8].

Во-вторых, безопасность является фундаментальным принципом. Система должна включать механизмы шифрования данных, многофакторную аутентификацию и аудит логов для защиты от несанкционированного доступа [9].

В-третьих, удобство использования ориентировано на пользователя. Интерфейс должен быть интуитивным, с мобильной поддержкой для доступа с устройств на объектах и учитывать уровень цифровой грамотности сотрудников [10]. Кроме того, принцип масштабируемости обеспечивает адаптацию системы к росту организации, включая интеграцию с внешними подрядчиками через API [11].

Внедрение безбумажной технологии в строительной организации – это структурированный процесс, разделённый на этапы, чтобы минимизировать риски и обеспечить плавный переход [12].

Первый этап: анализ текущих процессов. Здесь проводится аудит, выявление узких мест и оценка объёма документов для цифровизации [13].

Второй этап: выбор программных решений [8].

Третий этап: интеграция. Этот этап включает миграцию данных, настройку ролей доступа и тестирование на пилотном объекте. Пилотное тестирование позволяет выявить технические и организационные проблемы до масштабного внедрения [15; 16].

Четвёртый этап: обучение персонала. Проводятся семинары, онлайн-курсы и симуляции для повышения компетенций.

Пятый этап: мониторинг и оптимизация. После запуска отслеживаются метрики, такие как время согласований и частота ошибок, и вносятся корректировки на основе обратной связи. Регулярный аудит системы позволяет поддерживать её актуальность и эффективность [17].

Такая поэтапная реализация обеспечивает успешное внедрение, минимизируя сбои в работе организации [12].

Внедрение рациональной безбумажной системы документооборота приводит к значительным преимуществам для строительной организации, обеспечивая повышение эффективности, снижение затрат и улучшение управляемости процессов [8]. Сокращение времени согласований на 40–50 % является одним из ключевых эффектов.

Автоматизация маршрутов и использование электронных подписей позволяют ускорить процессы обработки актов, журналов и исполнительных схем, что минимизирует простои техники и повышает общую производительность строительных проектов [18]. Снижение затрат достигает 20–30 % за счёт отказа от бумажных носителей, услуг курьерской доставки и содержания архивных помещений, а также минимизации ошибок, связанных с ручным вводом данных [14].

Экологические эффекты включают сокращение углеродного следа за счёт отказа от бумажных документов, что способствует достижению целей устойчивого развития в строительной отрасли [17]. Исследования показывают, что переход к безбумажным технологиям может снизить потребление бумаги на 80 %, что эквивалентно экономии сотен килограммов CO₂ на крупный проект [13; 14].

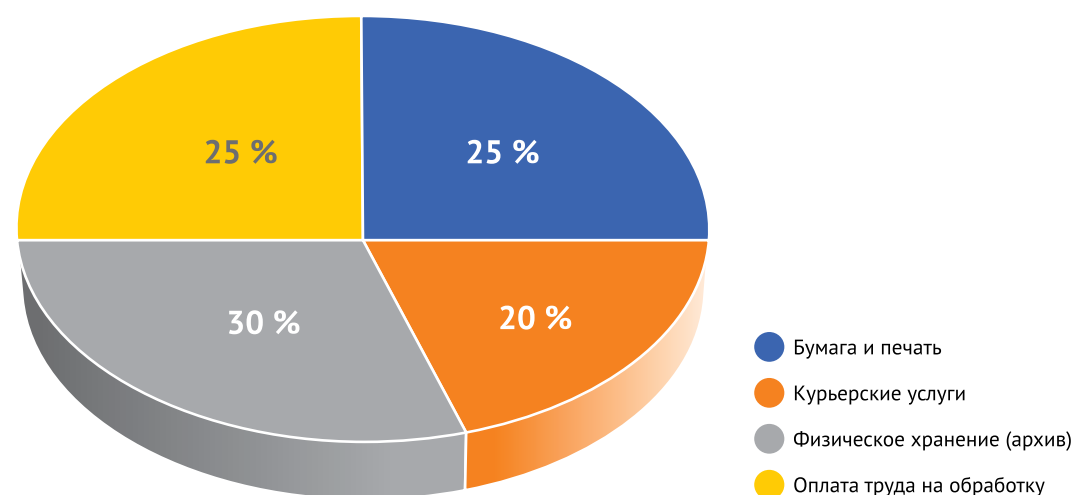


Рис. 1. Структура затрат (до внедрения ЭДО)
Fig. 1. Cost structure (before the implementation of EDI)

В целом, организация получает конкурентное преимущество через оптимизированные процессы, улучшенное взаимодействие между участниками проекта и повышение качества управления документацией, что укрепляет её рыночные позиции [7].

Заключение

В заключение отметим, что разработка рациональной системы безбумажного документооборота представляет собой ключевой шаг в цифровизации строительной отрасли. Она решает проблемы традиционных методов, обеспечивая эффективность, безопасность и удобство использования [1]. Переход к безбумажным технологиям позволяет устранить задержки, снизить затраты и повысить прозрачность процессов, что особенно важно в условиях распределённых строительных проектов и строгих

нормативных требований [2]. Рекомендуется начинать внедрение с анализа текущих процессов и проведения пилотных проектов, что позволяет выявить и устранить потенциальные проблемы до масштабного развёртывания. Интеграция современных ИТ-решений, таких как BIM-платформы и облачные системы, обеспечивает долгосрочный успех и адаптивность к изменениям в отрасли [3; 19].

Таким образом, рациональная безбумажная система документооборота не только решает текущие управленческие задачи, но и создаёт основу для устойчивого развития строительных организаций в условиях цифровизации, обеспечивая их готовность к будущим вызовам [5; 20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Finch, E. F. Electronic document management in construction using auto-ID / E. Finch, R. Flanagan, L. E. Marsh // *Automation in Construction*. – 1996. – Vol. 5, Iss. 4. – Pp. 313–321. – URL: [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(96\)00156-2](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(96)00156-2) (дата обращения: 31.08.2025).
2. Exploitation of Document Management Systems in Construction Industry / T. Mandicak, P. Mesaros, M. Spisakova, A. Kanalikova. – DOI 10.1088/1757-899X/1252/1/012077 // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Civil Engineering Conference (CEC 2022)* 06/06/2022 – 08/06/2022 Košice, Slovakia. – 2022. – Vol. 1252, Iss. 1. – Art. 012077.
3. Björk, B.-C. Electronic Document Management in Construction – Research Issues and Results / B.-C. Björk // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2003. – Vol. 8. – Pp. 105–117. – URL: https://www.itcon.org/papers/2003_9.content.04687.pdf (дата обращения: 31.08.2025).
4. Enhancing Construction Project Document Management with Mobile Apps / J. E. Yankah, S. Kotey, G. H. Coffie, H. Abeka, C. K. Tieru. – DOI 10.47772/IJRISS.2023.7012087 // *International Journal of Research and Innovation in Social Science*. – 2024. – Vol. 7, Iss. 01. – Pp. 2454–6189. – URL: <https://www.rsisinternational.org/journals/ijriss/Digital-Library/volume-7-issue-1/2878-2887.pdf> (дата обращения: 31.08.2025).
5. Björk, B.-C. The impact of electronic document management on construction information management / B.-C. Björk // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2002. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-impact-of-electronic-document-management-on-Bj%25C3%25B6rk/bd8bb028a6146dd03d3b0db3c0895d110c44d44> (дата обращения: 31.08.2025).
6. Anggraini, D. Electronic document management systems implementation across industries: systematic analysis / D. Anggraini, K. Adi, J. E. Suseno // *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. – 2024. – Vol. 36, Iss. 1. – Pp. 264–273. – URL: <http://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/32629> (дата обращения: 31.08.2025).
7. Hjelt, M. Experiences of EDM Usage in Construction Projects / M. Hjelt, B.-C. Björk // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2006. – Vol. 11. – Pp. 113–125. – URL: https://www.itcon.org/papers/2006_9.content.01324.pdf (дата обращения: 31.08.2025).
8. Penttilä, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression / H. Penttilä // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2006. – Vol. 11. – Pp. 395–408. – URL: <https://www.itcon.org/2006/29> (дата обращения: 31.08.2025).
9. Rezgui, Y. Review of information and the state of the art of knowledge management practices in the construction industry / Y. Rezgui. – DOI 10.1017/S026988890100008X // *The Knowledge Engineering Review*. – 2001. – Vol. 16, Iss. 3. – Pp. 241–254 (дата обращения: 31.08.2025).
10. Ruikar, K. E-Business in Construction / K. Ruikar, C. J. Anumba. – 1st ed. – Oxford, UK : Blackwell Pub, 2008. – 279 p.
11. Sarshar, M. Towards virtual prototyping in the construction industry: The case study of the Divercity project / M. Sarshar, P. Christianssen // *World IT for Design and Construction : International Conference on Construction Information Technology (INCITE 2004)*, Langkawi, Malaysia, 18–21 February, 2004. – 2004. – Pp. 581–588.
12. Froese, T. M. Future Directions for IFC-based Interoperability / T. M. Froese // *ITcon*. – 2003. – Vol. 8. – Pp. 231–246. – URL: https://www.itcon.org/papers/2003_17.content.01345.pdf (дата обращения: 31.08.2025).

https://www.itcon.org/papers/2003_17.content.01345.pdf (дата обращения: 31.08.2025).

13. Information Technology for Construction: Recent Work and Future Directions / R. Amor, M. Betts, G. Coetzee, M. Sexton // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2002. – Vol. 7. – P. 245–258. – URL: https://www.itcon.org/papers/2001_16.content.06437.pdf (дата обращения: 31.08.2025).
14. Выставка, Е. В. Влияние документооборота на эффективность выполнения строительных работ на атомной станции / Е. В. Выставка // *The Scientific Heritage*. – 2021. – No. 81. – Pp. 44–46. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-dokumentooborota-na-effektivnost-vypolneniya-stroitelnyh-rabot-na-atomnoy-stantsii> (дата обращения: 31.08.2025).
15. Pidgeon, A. Bridging the Gap Between Theory and Practice for Adopting Meaningful Collaborative BIM Processes in Infrastructure Projects, Utilising Multi-Criteria Decision Making (MCDM) / A. Pidgeon, N. Dawood. – DOI 10.36680/j.itcon.2021.043 // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2021. – Vol. 26. – P. 831–848 (дата обращения: 31.08.2025).
16. Саитгараев, А. Ф. Проблемы внедрения системы электронного документооборота в производственных подразделениях строительных организаций / А. Ф. Саитгараев // *Вестник университета*. – 2016. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vnedreniya-sistemy-elektronnoy-dokumentooborota-v-proizvodstvennykh-podrazdeleniyah-stroitelnykh-organizatsiy> (дата обращения: 31.08.2025).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Finch, E. F. Electronic document management in construction using auto-ID / E. Finch, R. Flanagan, L. E. Marsh // *Automation in Construction*. – 1996. – Vol. 5, Iss. 4. – Pp. 313–321. – URL: [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(96\)00156-2](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(96)00156-2) (date of access: 31.08.2025).
2. Exploitation of Document Management Systems in Construction Industry / T. Mandicak, P. Mesaros, M. Spisakova, A. Kanalikova. – DOI 10.1088/1757-899X/1252/1/012077 // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Civil Engineering Conference (CEC 2022)* 06/06/2022 – 08/06/2022 Košice, Slovakia. – 2022. – Vol. 1252, Iss. 1. – Art. 012077.
3. Björk, B.-C. Electronic Document Management in Construction – Research Issues and Results / B.-C. Björk // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2003. – Vol. 8. – Pp. 105–117. – URL: https://www.itcon.org/papers/2003_9.content.04687.pdf (date of access: 31.08.2025).
4. Enhancing Construction Project Document Management with Mobile Apps / J. E. Yankah, S. Kotey, G. H. Coffie, H. Abeka, C. K. Tieru. – DOI 10.47772/IJRISS.2023.7012087 // *International Journal of Research and Innovation in Social Science*. – 2024. – Vol. 7, Iss. 01. – Pp. 2454–6189. – URL: <https://www.rsisinternational.org/journals/ijriss/Digital-Library/volume-7-issue-1/2878-2887.pdf> (date of access: 31.08.2025).
5. Björk, B.-C. The impact of electronic document management on construction information management / B.-C. Björk // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2002. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-impact-of-electronic-document-management-on-Bj%25C3%25B6rk/bdb8bb028a6146dd03d3b0db3c0895d110c44d44> (date of access: 31.08.2025).
6. Anggraini, D. Electronic document management systems implementation across industries: systematic analysis / D. Anggraini, K. Adi, J. E. Suseno // *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. – 2024. – Vol. 36, Iss. 1. – Pp. 264–273. – URL: <http://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/32629> (date of access: 31.08.2025).
7. Hjelt, M. Experiences of EDM Usage in Construction Projects / M. Hjelt, B.-C. Björk // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2006. – Vol. 11. – Pp. 113–125. – URL: https://www.itcon.org/papers/2006_9.content.01324.pdf (date of access: 31.08.2025).

https://www.itcon.org/papers/2003_17.content.01345.pdf (дата обращения: 31.08.2025).

17. Alshawi, M. Web-enabled Project Management: An Emerging Paradigm in Construction / M. Alshawi, B. Ingirige. – DOI 10.1016/S0926-5805(03)00003-7 // *Automation in Construction*. – 2003. – Vol. 12, Iss. 4. – Pp. 349–364.
18. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers / C. M. Eastman, P. M. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – 3rd ed. – Wiley, 2019. – 688 p.
19. Olanipekun, A. O. Facilitating Digital Transformation in Construction – A Systematic Review of the Current State of the Art / A. O. Olanipekun, M. Sutrisna // *Frontiers in Built Environment*. – 2021. – Vol. 7. – Article 660758. – DOI: 10.3389/fbuil.2021.660758. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2021.660758> (дата обращения: 31.08.2025).
20. Невмержицкий, А. Л. Цифровая трансформация строительной отрасли России: опыт и перспективы BIM-технологий / А. Л. Невмержицкий, Е. А. Разумовская // *Финансово-экономический вестник*. – 2025. – № 2. – С. 41–48. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-stroitelnoy-otrasli-rossii-opyt-i-perspektivy-bim-tehnologii> (дата обращения: 31.08.2025).

8. Penttilä, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression / H. Penttilä // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2006. – Vol. 11. – Pp. 395–408. – URL: <https://www.itcon.org/2006/29> (date of access: 31.08.2025).
9. Rezgui, Y. Review of information and the state of the art of knowledge management practices in the construction industry / Y. Rezgui. – DOI 10.1017/S026988890100008X // *The Knowledge Engineering Review*. – 2001. – Vol. 16, Iss. 3. – Pp. 241–254 (date of access: 31.08.2025).
10. Ruikar, K. E-Business in Construction / K. Ruikar, C. J. Anumba. – 1st ed. – Oxford, UK : Blackwell Pub, 2008. – 279 p.
11. Sarshar, M. Towards virtual prototyping in the construction industry: The case study of the Divercity project / M. Sarshar, P. Christianssen // *World IT for Design and Construction : International Conference on Construction Information Technology (INCITE 2004)*, Langkawi, Malaysia, 18–21 February, 2004. – 2004. – Pp. 581–588.
12. Froese, T. M. Future Directions for IFC-based Interoperability / T. M. Froese // *ITcon*. – 2003. – Vol. 8. – Pp. 231–246. – URL: https://www.itcon.org/papers/2003_17.content.01345.pdf (date of access: 31.08.2025).
13. Information Technology for Construction: Recent Work and Future Directions / R. Amor, M. Betts, G. Coetzee, M. Sexton // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2002. – Vol. 7. – P. 245–258. – URL: https://www.itcon.org/papers/2001_16.content.06437.pdf (date of access: 31.08.2025).
14. Vystavkina, E. V. Vliyanie dokumentooborota na ehffektivnost' vypolneniya stroitel'nykh rabot na atomnoj stantsii [The influence of document management on the efficiency of construction work at a nuclear power plant] / E. V. Vystavkina // *The Scientific Heritage [The Scientific Heritage]*. – 2021. – No. 81. – Pp. 44–46. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-dokumentooborota-na-effektivnost-vypolneniya-stroitelnyh-rabot-na-atomnoy-stantsii> (date of access: 08/31/2025).
15. Pidgeon, A. Bridging the Gap Between Theory and Practice for Adopting Meaningful Collaborative BIM Processes in Infrastructure Projects, Utilising Multi-Criteria Decision Making (MCDM) / A. Pidgeon, N. Dawood. – DOI 10.36680/j.itcon.2021.043 // *Journal of Information Technology in Construction*. – 2021. – Vol. 26. – P. 831–848 (date of access: 31.08.2025).

31.08.2025).

16. Saitgaraev, A. F. Problemy vnedreniya sistemy ehlektronnogo dokumentooborota v proizvodstvennykh podrazdeleniyakh stroitel'nykh organizatsij [Problems of implementing an electronic document management system in the production units of construction organizations] / A. F. Saitgaraev // Vestnik universiteta [Bulletin of the University]. – 2016. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vnedreniya-sistemy-elektronnogo-dokumentooborota-v-proizvodstvennykh-podrazdeleniyah-stroitelnyh-organizatsiy> (date of access: 08/31/2025).

17. Alshawi, M. Web-enabled Project Management: An Emerging Paradigm in Construction / M. Alshawi, B. Ingirige. – DOI 10.1016/S0926-5805(03)00003-7 // Automation in Construction. – 2003. – Vol. 12, Iss. 4. – Pp. 349–364.

18. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers / C. M. Eastman, P. M. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – 3rd ed. – Wiley, 2019. – 688 p.

19. Olanipekun, A. O. Facilitating Digital Transformation in Construction—A Systematic Review of the Current State of the Art / A. O. Olanipekun, M. Sutrisna // Frontiers in Built Environment. – 2021. – Vol. 7. – Article 660758. – DOI: 10.3389/fbuil.2021.660758. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/built-environment/articles/10.3389/fbuil.2021.660758> (date of access: 31.08.2025).

20. Nevmerzhitsky, A. L. TSifrovaya transformatsiya stroitel'noj otrasli Rossii: opyt i perspektivy BIM-tehnologij [Digital transformation of the Russian construction industry: The experience and prospects of BIM technologies] / A. L. Nevmerzhitsky, E. A. Razumovskaya // Finansovo-ehkonomicheskij vestnik [Financial and Economic Bulletin]. – 2025. – No. 2. – Pp. 41–48. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-stroitelnoy-otrasli-rossii-opyt-i-perspektivy-bim-tehnologiy> (date of access: 08/31/2025).

УДК 69 DOI: 10.54950/26585340_2025_3_126

Имитационное моделирование продолжительности проведения конкурсных процедур для осуществления строительства, в условиях неопределённости

Simulation of the Duration of Competitive Procedures for Construction, Under Conditions of Uncertainty

Олейник Павел Павлович

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

Oleynik Pavel Pavlovich

Doctor of Technical Sciences, 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, cniontp@mail.ru

Нелина Дарья Владимировна

Старший преподаватель кафедры «Технологии и организация строительного производства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, NelinaDV@mgsu.ru

Nelina Darya Vladimirovna

Senior Lecturer 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, NelinaDV@mgsu.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается методика имитационного моделирования продолжительности конкурсных процедур в строительстве с учётом факторов неопределённости. На основе метода Монте-Карло построена модель прогнозирования реальных сроков закупок, учитывающая влияние несоблюдения порядка разработки, согласования и утверждения документов, объёма подготовки и качества конкурсной документации участниками, недостаточности нормативно-правовой базы, регулирующей проведение конкурсов, включая требования открытости, прозрачности и справедливости процесса, несвоевременной дачи разъяснений со стороны заказчика, а также других случайных факторов. Моделирование выполняется с использованием распределения Лапласа, что отражает высокую вариативность реальных конкурсных процедур.

Показано, что регламентированные сроки значительно отличаются от ожидаемых, а вероятность превышения целевого

срока достигает 50 %. Полученные данные позволяют перейти от детерминированного планирования к вероятному прогнозированию, что повышает обоснованность управленческих решений. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации календарного графика, управления рисками и повышения предсказуемости реализации инвестиционно-строительных проектов, а также в качестве основы для разработки гибких, дифференцированных подходов к организации на всех этапах конкурсных процедур в условиях технологических и организационных изменений.

Ключевые слова: имитационное моделирование; конкурсные процедуры; увязка во времени; граничные интервалы; метод Монте-Карло; этапы конкурсных процедур; элементы конкурсных процедур; весовые характеристики; группы факторов; распределение Лапласа.

procedure for developing, approving and approving documents, the volume of preparation and quality of tender documentation by participants, insufficient regulatory framework governing tenders, including requirements for openness, transparency and fairness of the process, late explanations from the Customer, as

well as other random factors. The simulation is performed using the Laplace distribution, which reflects the high variability of real competitive procedures.

It is shown that the regulated deadlines differ significantly from the expected ones, and the probability of exceeding the target deadline reaches to 50%. The data obtained allows us to move from deterministic planning to probable forecasting, which increases the validity of management decisions. The research results can be used to optimize the calendar schedule, manage risks

Введение

Одной из ключевых задач управления строительными проектами является точное прогнозирование сроков реализации, которые напрямую зависят от эффективности подготовки, проведения и завершения конкурсных процедур. В процессе организации конкурсных процедур на различных этапах строительного производства возникает значительная неопределённость, обусловленная влиянием множества факторов. Традиционные подходы к организации конкурсных процедур, основанные на усреднённых нормативах или максимальных сроках и линейной последовательности, не учитывают вариативность условий и сложностей, возникающих на практике, что приводит к срывам графиков, росту издержек, снижает достоверность прогнозов и ведёт к неэффективному управлению календарными планами [1].

Для решения этой проблемы всё большее распространение получает необходимость создания имитационной модели, позволяющей учитывать вариативность процессов и прогнозировать не один срок, а диапазон возможных значений с различными вероятностями наступления событий [2].

Целью данного исследования является разработка методики имитационного моделирования продолжительности конкурсных процедур в условиях неопределённости.

Материалы и методы

В исследовании применены следующие методы: системный анализ данных – анализ конкурсных процедур как целостной системы, включающей взаимосвязанные этапы, влияющие факторы, граничные интервалы влияния и итоговые результаты; сравнительный анализ – сопоставление регламентированных и реальных сроков продолжительности конкурсных процедур, а также анализ различных сценариев проведения конкурсов; метод статистического моделирования (метод Монте-Карло) – позволяет провести имитационное моделирование на основе многократной генерации случайных сценариев для прогнозирования продолжительности этапов конкурсных процедур; метод экспертных оценок – применён для определения весовых характеристик групп факторов, влияющих на продолжительность конкурсных процедур.

Результаты

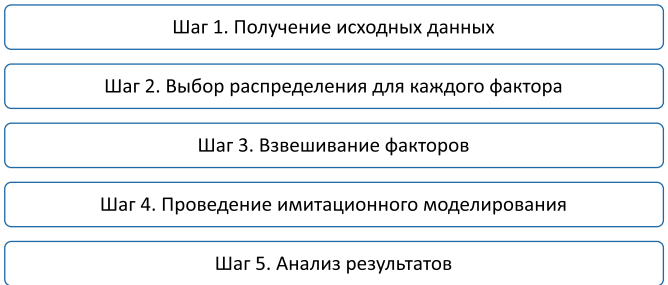


Рис. 1. Алгоритм метода Монте-Карло
Fig. 1. Monte Carlo method algorithm

and increase the predictability of investment and construction projects, as well as as a basis for developing flexible, differentiated approaches to organization at all stages of competitive procedures in the context of technological and organizational changes.

Keywords: simulation modeling; competitive procedures; time alignment; boundary intervals; Monte Carlo method; stages of competitive procedures; elements of competitive procedures; weight characteristics; groups of factors; Laplace distribution.

Для анализа взаимодействия нескольких факторов и оценки вероятности наступления сложных сценариев наиболее адекватным инструментом является метод статистического моделирования – метод Монте-Карло (рис. 1). Он позволит выявить то, как проходит процесс, учитывая неопределённость, влияние множества факторов, и позволит учесть граничные интервалы, влияющие на продолжительность конкурсных процедур. Метод Монте-Карло имитирует тысячи сценариев с учётом вероятностного распределения.

В рамках исследования метод Монте-Карло применяется для имитационного моделирования продолжительности этапов конкурсных процедур с учётом выявленных групп факторов, их весовых характеристик и граничных интервалов влияния. Моделирование выполняется в 1000 итераций с использованием закона распределения Лапласа, что обеспечивает достаточную точность и устойчивость результатов.

Шаг 1. Получение исходных данных:

- регламентированная продолжительность каждого этапа (дни);
- граничные интервалы влияния факторов на продолжительность этапа (дни);
- весовые характеристики влияния групп факторов на этап конкурсных процедур.

Шаг 2. Выбор распределения для каждого фактора:

Для каждой группы факторов задаётся распределение Лапласа, параметры которого определяются на основе границ интервала и экспертной оценки наиболее вероятного значения. Это позволяет учесть как концентрацию значений вокруг центрального показателя, так и повышенную вероятность отклонений от реальных сроков.

Шаг 3. Взвешивание факторов:

Весовые характеристики используются в формуле 1 суммарного отклонения от базовой продолжительности:

$$\Delta\tau = \sum_n^1 t_i \tau'_{A_i}, \quad (1)$$

где $\Delta\tau$ – суммарное отклонение от базовой продолжительности;

τ'_{A_i} – вес i -й группы факторов;

t_i – случайное значение из интервала i -го фактора (согласно выбранному распределению).

Шаг 4. Проведение имитационного моделирования:

На каждой итерации:

- генерируется случайное значение влияния для каждого фактора в пределах заданного интервала;
- значение умножается на соответствующий весовой коэффициент;
- рассчитывается суммарное отклонение $\Delta\tau$;
- определяется итоговая фактическая продолжительность этапа по формуле 2:

$$T_{\phi} = T_p + \Delta\tau, \quad (2)$$

где T_{ϕ} – прогнозируемая (фактическая) продолжительность конкурсных процедур;

T_p – регламентированная продолжительность.

Условное обозначение и наименование группы факторов	Среднее значение интервала в группе (дни)	Весовая характеристика группы факторов
Группа A ₁ (организационные)	$1 \leq t_i \leq 10$	0,2
Группа A ₂ (управленческие)	$1 \leq t_i \leq 12$	0,1
Группа A ₃ (правовые и нормативные)	$1 \leq t_i \leq 9$	0,3
Группа A ₄ (технические и проектные)	$1 \leq t_i \leq 7$	0,2
Группа A ₅ (кадровые)	$1 \leq t_i \leq 3$	0,1
Группа A ₆ (внешние и рыночные)	$1 \leq t_i \leq 5$	0,1

Табл. 1. Граничные интервалы влияния факторов на продолжительность проведения конкурсных процедур на этапе «Подготовка»
Tab 1. Boundary intervals of influence of factors on the duration of competitive procedures at the stage of "Preparation"

Наименование этапа	Наименование элемента	Продолжительность (дни)	
		Минимум	Максимум
Этап 1: Подготовка конкурсных процедур	Подготовка исходной документации для формирования закупки и расчёта начальной максимальной цены контракта (НМЦК)	7	14
	Расчёт НМЦК	3	5
	Формирование, согласование, выпуск приказа на осуществление закупки	3	7
	Образование комиссии по осуществлению закупок	5	14
	Формирование, размещение план-графика в ЕИС	3	5
	Подготовка закупочной документации	3	5
	Формирование извещения в ЕИС	1	3
	Постановка на учёт в Федеральном Казначействе бюджетного обязательства	2	3

Табл. 2. Структура этапа 1 «Подготовка конкурсных процедур»
Tab. 2. Structure of Stage 1 "Preparation of Competitive Procedures"

Шаг 5. Статистический анализ результатов:
По завершении 1000 итераций формируется массив возможных значений длительности, на основе которого проводится анализ:

- построение распределения сроков;
- расчёт среднего и медианы;
- определение доверительных интервалов;
- оценка вероятности наступления интересующих сценариев.

Такой подход позволяет перейти от детерминированного планирования к вероятному прогнозированию, что повышает обоснованность управленческих решений в условиях неопределённости.

В рамках исследования выполняется оценка возможных сценариев проведения конкурсных процедур с учётом выявленных групп факторов, их весовых характеристик и установленных граничных интервалов влияния по времени [3]. На основе метода Монте-Карло проводится имитационное моделирование продолжительности эта-

пов при минимальных и максимальных значениях, влияющих на факторы, определённых на основе экспертного анализа. Это позволяет установить диапазон возможных сроков – от минимального до максимального, рассчитать их средние значения, а также вероятности наступления ключевых событий (например, превышения установленного срока).

Моделирование осуществляется для различных сценариев, отражающих реальные условия организации и проведения конкурсных процедур. В качестве входных данных используется таблица 1, содержащая интервалы влияния факторов на каждый этап конкурсных процедур. Полученные результаты обеспечивают фундамент для обоснованного прогнозирования сроков, управления рисками и оптимизации календарного плана.

Среднее значение интервала по группе факторов представляет собой обобщённую оценку, отражающую диапазон, включающий все частные интервалы влияния отдельных факторов на соответствующий этап конкурсной

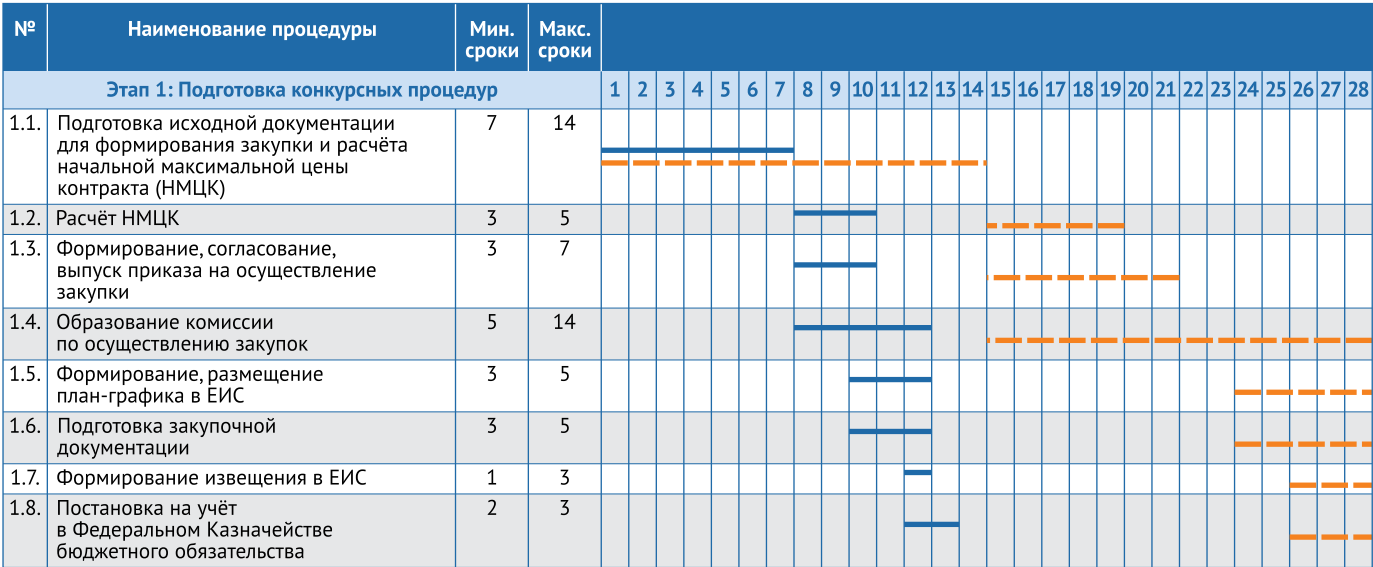


Рис. 2. Календарный график реализации 1 этапа «Подготовка»
Fig. 2. Calendar schedule for the implementation of the first stage "Preparation"

№ пп.	Наименование критерия	Значение критерия
1	Наименование этапа	Подготовка
2	Минимальная продолжительность (дни)	14
3	Весовая характеристика групп факторов	Группа A ₁ 0,2
		Группа A ₂ 0,1
		Группа A ₃ 0,3
		Группа A ₄ 0,2
		Группа A ₅ 0,1
		Группа A ₆ 0,1
4	Граничные интервалы влияния факторов	Группа A ₁ $1 \leq t_i \leq 10$
		Группа A ₂ $1 \leq t_i \leq 12$
		Группа A ₃ $1 \leq t_i \leq 9$
		Группа A ₄ $1 \leq t_i \leq 7$
		Группа A ₅ $1 \leq t_i \leq 3$
		Группа A ₆ $1 \leq t_i \leq 5$

Табл. 3. Исходные данные (минимальная продолжительность)
Tab. 3. Input data (minimum duration)

процедуры. Данный подход обеспечивает учёт неопределённости и позволяет использовать установленные граничные интервалы для последующего имитационного моделирования.

Авторами разработана структура этапов конкурсных процедур и установлены интервальные сроки их продолжительности (таблица 2), которые определены на основе экспертной оценки и систематизации положений нормативных документов, регулирующих проведение государственных закупок [4; 5; 6; 7].

На основании таблицы 2 построен календарный график (рисунок 2) [4] проведения 1 этапа «Подготовка конкурсных процедур» с учётом минимальных и максимальных сроков.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что минимальный срок проведения этапа «Подготовка конкурсных процедур» составляет 13 дней, максимальный срок – 28 дней.

Рассмотрим несколько сценариев развития наиболее вероятных ситуаций конкурсных процедур. Первый сценарий для первого этапа «Подготовка» представлен в таблице 3.

В качестве базовой продолжительности этапа принято значение 13 дней, соответствующее установленным регламентным срокам проведения конкурсных процедур. Граничные интервалы влияния факторов определены на основе экспертных оценок и анализа реальных конкурсных процедур с учётом типовых отклонений. Имитационное моделирование выполнено с использованием распределения Лапласа в заданных интервалах и взвешенной суммы влияния факторов, при этом сумма весовых характеристик равна 1, что обеспечивает корректность расчётов

Наименование показателя	Полученный результат
Базовая продолжительность, дни	13
Средняя итоговая продолжительность, дни	17,55
Медиана, дни	17,56
Минимальная продолжительность, дни	14,24
Максимальная продолжительность, дни	20,87
Вероятность уложиться в 15 дней, %	0,01 %
Вероятность уложиться в 18 дней, %	81,1 %
Вероятность уложиться в 20 дней, %	99,8 %

Табл. 4. Результаты моделирования продолжительности этапа «Подготовка» (минимальная продолжительность)
Tab. 4. Simulation results of the duration of the "Preparation" stage (minimum duration)

и исключает систематические искажения результатов моделирования [8; 9]. Результаты моделирования представлены в таблице 4.

Анализ полученных результатов показал, что средняя ожидаемая продолжительность этапа «Подготовка» составляет 18 дней, что превышает установленный регламентный срок в 13 дней на 38 %. Минимальная продолжительность, полученная в ходе имитационного моделирования, составила 14 дней, однако вероятность завершения этапа за 14 дней нулевая, что указывает на высокую вариативность процесса и малую вероятность достижения нижней границы.

Установлено, что с вероятностью 81,1 % этап завершается в течение 18 дней, а с вероятностью 99,8 % – не позднее 20 дней. Эти данные позволяют рекомендовать целевые сроки планирования календарного графика инвестиционно-строительного проекта на уровне 18–20 дней, что обеспечивает высокую степень достоверности соблюдения графика при реализации инвестиционной программы.

Второй сценарий для первого этапа «Подготовка» представлен в таблице 5.

Результаты моделирования представлены в таблице 6.

Результаты моделирования показали, что при установленном максимальном сроке этапа «Подготовка», равном 28 дней, средняя реальная продолжительность составляет 33 дня, что свидетельствует о системном несоответствии между нормативными регламентами и фактической практикой проведения конкурсных процедур.

Минимальная возможная продолжительность этапа составила 29 дней, что обусловлено тем, что все учтённые факторы оказывают взвешенное влияние, приводящее к

№ пп.	Наименование критерия	Значение критерия
1	Наименование этапа	Подготовка
2	Минимальная продолжительность (дни)	28
3	Весовая характеристика групп факторов	Группа A ₁ 0,2
		Группа A ₂ 0,1
		Группа A ₃ 0,3
		Группа A ₄ 0,2
		Группа A ₅ 0,1
		Группа A ₆ 0,1
4	Граничные интервалы влияния факторов	Группа A ₁ $1 \leq t_i \leq 10$
		Группа A ₂ $1 \leq t_i \leq 12$
		Группа A ₃ $1 \leq t_i \leq 9$
		Группа A ₄ $1 \leq t_i \leq 7$
		Группа A ₅ $1 \leq t_i \leq 3$
		Группа A ₆ $1 \leq t_i \leq 5$

Табл. 5. Исходные данные (максимальная продолжительность)
Tab. 5. Input data (maximum duration)

Наименование показателя	Полученный результат
Базовая продолжительность, дни	28
Средняя итоговая продолжительность, дни	32,51
Медиана, дни	32,52
Минимальная продолжительность, дни	29,26
Максимальная продолжительность, дни	35,19
Вероятность уложиться в 30 дней, %	0,01 %
Вероятность уложиться в 32 дня, %	15,7 %
Вероятность уложиться в 35 дней, %	99,8 %

Табл. 6. Результаты моделирования продолжительности этапа «Подготовка» (максимальная продолжительность)
Tab. 6. Results of modeling the duration of the "Preparation" stage (maximum duration)

увеличению базового срока уже на начальном этапе реализации процесса.

Вероятность завершения этапа в течение 32 дней оценивается в 15,7 %, следовательно, в 84,3 % случаев его продолжительность превышает данный порог. При этом с вероятностью 99,8 % этап завершится не позднее чем через 35 дней, что может быть принято в качестве практически гарантированного срока при календарном планировании.

Распределение итоговой продолжительности этапа «Подготовка» построено на основе распределения Лапласа и описывается функцией плотности вероятности (формула 3), которая адекватно отражает островершинность эмпирического распределения и наличие тяжёлых «хвостов», характерных для конкурсных процедур в условиях организационной неопределённости (рисунок 3).

f(x) = 1/(2b) * exp(-|x - mu|/b), (3)

где mu – медиана (и мода) распределения (наибольшее вероятное влияние, т. е. оценка эксперта):

mu_i = (a_i + b_i) / 2, (4)

b – параметр масштаба (чем больше b, тем «шире» распределение):

b_i^param. = (b_i - a_i) / 6, (5)

a_i – минимальное влияние i-го интервала времени (дни);
b_i – максимальное влияние i-го интервала времени (дни).

Полученные данные указывают на высокую степень неопределённости и значительную вариативность рассматриваемого процесса, несмотря на формальное установление жёсткого регламента. Это подтверждает не-

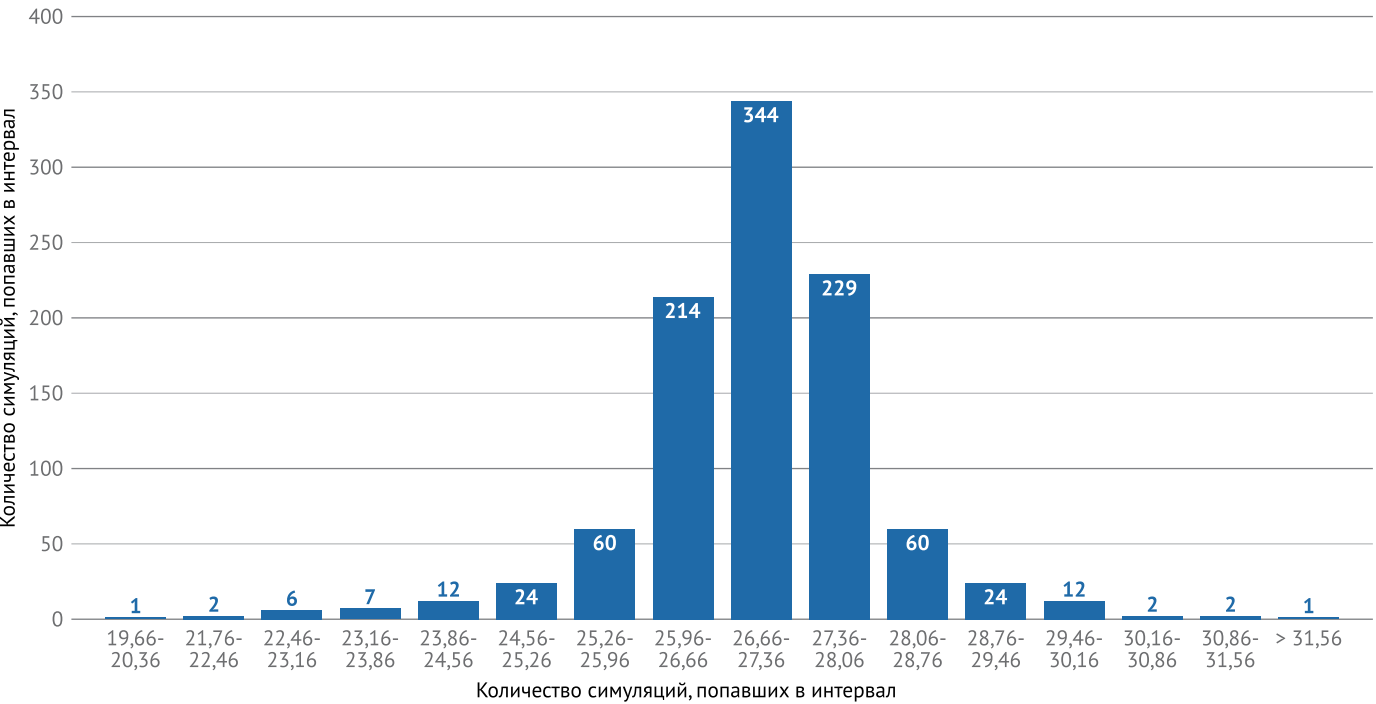
обходимость перехода от детерминированного подхода к управлению сроками к гибкой, риск-ориентированной модели, включающей дифференциацию продолжительности этапов в зависимости от уровня влияния ключевых факторов [10].

Закключение

В условиях высокой неопределённости и многофакторного влияния на продолжительность этапов конкурсных процедур применение метода Монте-Карло позволило перейти от формальных, усреднённых оценок к вероятному прогнозированию на основе имитационного моделирования. Данный подход обеспечил количественную оценку рисков, выявил существенное расхождение между регламентированными и реальными сроками проведения конкурсных процедур и лёг в основу разработки гибкой дифференцированной системы планирования, адаптированной к уровню влияния ключевых факторов.

Использование распределение Лапласа в качестве закона распределения случайных величин повысило адекватность модели за счёт учёта тяжёлых «хвостов» и островершинности, характерных для реальных конкурсных процедур. Это позволило более точно отразить вероятность задержек, обусловленных согласованиями, проверками и оспариванием результатов.

Результаты моделирования показывают, что средняя фактическая продолжительность этапов превышает регламентированные значения в 1,2–1,4 раза, а в отдельных случаях – ещё больше. Полученные данные подтверждают необходимость перехода от жёстких нормативных сроков к риск-ориентированному управлению графиком в инвестиционно-строительных проектах, где любые задержки на стадиях подготовки, проведения и завершения конкурсных процедур напрямую влияют на сроки ввода объектов в эксплуатацию и общую эффективность инвестиционного проекта.



Условные обозначения:
среднее значение: 17,55 дней,
по горизонтали – интервалы продолжительности (дни),
по вертикали – количество симуляций, попавших в интервал.

Рис. 3. Гистограмма распределения продолжительность этапа «Подготовка»
Fig. 3. Histogram of the duration of the Preparation stage

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асаул, А. Н. Корпоративные структуры в региональном инвестиционно-строительном комплексе : монография / А. Н. Асаул, А. В. Батрак. – Москва : Издательство АСВ ; Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2001. – 168 с.
2. Кожемякина, О. П. Применение имитационного моделирования для совершенствования деятельности строительной фирмы / О. П. Кожемякина, Е. Н. Гусева // Современная техника и технологии. – 2015. – № 6 – С. 42–48. – URL: https://technology.snauka.ru/2015/06/7094.
3. Kazaryan, R. Aspects of the System Approach to Using Information Modelling Technology in Organization of Construction Production / R. Kazaryan, E. B. Tregubova. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_177 // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021, Novosibirsk, 11–14 мая 2021 года. – Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2022. – Vol. 402-1. – Pp. 1605–1612.
4. Олейник, П. П. Моделирование продолжительности этапов конкурсных процедур / П. П. Олейник, Р. Р. Казарян, Д. В. Нелина. – DOI 10.54950/26585340_2024_4_30 // Строительное производство. – 2024. – № 4. – С. 30–35.
5. Нелина, Д. В. Анализ практики организации конкурсных процедур в строительстве на этапах подготовки, проведения и завершения / Д. В. Нелина // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2024. – № 12 (1084). – С. 53–55. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75137745.
6. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Asaul, A. N. Korporativnye struktury v regional'nom investitsionno-stroitel'nom komplekse : monografiya [Corporate Structures in the Regional Investment and Construction Complex : Monografiya] / A. N. Asaul, A. V. Batrak. – Moscow : Publishing House of the Association of Construction Universities ; St. Petersburg : SPbGASU, 2001. – 168 p.
2. Kozhemyakina, O. P. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya dlya sovershenstvovaniya deyatel'nosti stroitel'noj firmy [Primeneniye imitatsionnogo modelirovaniya dlya nablyudayemoy deyatel'nosti stroitel'nykh firm] / O. P. Kozhemyakina, E. N. Guseva // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii [Modern equipment and technologies]. – 2015. – No. 6 – Pp. 42–48. – URL: https://technology.snauka.ru/2015/06/7094.
3. Kazaryan, R. Aspects of the System Approach to Using Information Modelling Technology in Organization of Construction Production / R. Kazaryan, E. B. Tregubova. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_177 // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021, Novosibirsk, 11–14 мая 2021 года. – Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2022. – Vol. 402-1. – Pp. 1605–1612.
4. Olejnik, P. P. Modelirovanie prodolzhitel'nosti etapov konkursnykh protsedur [Modeling the duration of stages of competitive procedures] / P. P. Olejnik, R. R. Kazaryan, D. V. Nelina. – DOI 10.54950/26585340_2024_4_30 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2024. – No. 4. – Pp. 30–35.
5. Nelina, D. V. Analiz praktiki organizatsii konkursnykh protsedur v stroitel'stve na etapakh podgotovki, provedeniya i zaversheniya [Analysis of the practice of organizing competitive procedures in construction at the stages of preparation, implementation, and completion] / D. V. Nelina // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki [BSM: Bulletin of Construction Machinery]. – 2024. – No. 12 (1084). – Pp. 53–55. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75137745.
6. O kontraktnoj sisteme v sfere zakupok tovarov, rabot, uslug dlya obespecheniya gosudarstvennykh i munitsipal'nykh nuzhd : Federal'nyj zakon № 44-FZ ot 05.04.2013 (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.07.2025) [On the contract system in the field of procurement of Goods, Works, and Services

для обеспечения государственных и муниципальных нужд : Федеральный закон № 44-ФЗ от 05.04.2013 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.07.2025) : принят Государственной Думой 22 марта 2013 года : одобрен Советом Федерации 27 марта 2013 года : вступает в силу с 1 января 2014 года // Собрание законодательства Российской Федерации. – 8 апреля 2013 г. – № 14. – Ст. 1652.
7. О закупках товаров, услуг или работ отдельными видами юридических лиц : Федеральный закон № 223-ФЗ от 18.07.2011 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025) : принят Государственной Думой 8 июля 2011 года : одобрен Советом Федерации 13 июля 2011 года : вступает в силу с 1 января 2012 года // Собрание законодательства Российской Федерации. – 25 июля 2011 г. – № 30 (часть I). – Ст. 4571.
8. 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.
9. Rationale for selecting organizational and technological solutions / P. Olejnik, I. Doroshin, R. Kazaryan, R. Avetisyan. – DOI 10.55214/25768484.v8i6.2067 // Edelweiss Applied Science and Technology. – 2024. – Vol. 8, No. 6. – Pp. 334–341.
10. Лapidus, А. А. Формирование интегрального потенциала организационно-технологических решений посредством декомпозиции основных элементов строительного проекта / А. А. Лapidus. – DOI 10.22227/1997-0935.2016.12.114-123 // Вестник МГСУ. – 2016. – №12. – С.114–123.

for State and Municipal Needs : Federal Law No. 44-FZ of 04/05/2013 (as amended and supplemented, intro. effective from 07/01/2025)] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 22 marta 2013 goda : odobren Sovetom Federatsii 27 marta 2013 goda : vstupuet v silu s 1 yanvarya 2014 goda [adopted by the State Duma on March 22, 2013 : approved by the Federation Council on March 27, 2013 : effective January 1, 2014] // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii [Collection of Legislation of the Russian Federation]n. – April 8, 2013. – No. 14. – Art. 1652.
7. O zakupkakh tovarov, uslug ili rabot otdel'nymi vidami yuridicheskikh lits : Federal'nyj zakon № 223-FZ ot 18.07.2011 (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2025) [On procurement of Goods, Services or Works by Certain Types of Legal Entities: Federal Law No. 223-FZ of 07/18/2011 (as amended and supplemented, intro. effective 01.01.2025)] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 8 iyulya 2011 goda : odobren Sovetom Federatsii 13 iyulya 2011 goda : vstupuet v silu s 1 yanvarya 2012 goda [adopted by the State Duma on July 8, 2011 : approved by the Federation Council on July 13, 2011 : effective January 1, 2012] // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii [Collection of Legislation of the Russian Federation]. – July 25, 2011. – No. 30 (Part I). – Art. 4571.
8. Oleinik, P. P. Osnovnye tendentsii razvitiya organizatsii stroitel'nogo proizvodstva [The main trends in the development of the organization of construction production] / P. P. Oleinik. – DOI 10.54950/26585340_2022_2_21 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 2. – Pp. 21–25.
9. Rationale for selecting organizational and technological solutions / P. Olejnik, I. Doroshin, R. Kazaryan, R. Avetisyan. – DOI 10.55214/25768484.v8i6.2067 // Edelweiss Applied Science and Technology. – 2024. – Vol. 8, No. 6. – Pp. 334–341.
10. Lapidus, A. A. Formirovanie integral'nogo potentsiala organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenij posredstvom dekompozitsii osnovnykh ehlementov stroitel'nogo proekta [Formation of the integral potential of organizational and technological solutions through decomposition of the main elements of a construction project] / A. A. Lapidus. – DOI 10.22227/1997-0935.2016.12.114-123 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2016. – No. 12. – Pp. 114–123.

УДК 624.154.64

DOI: 10.54950/26585340_2025_3_132

Технологическая особенность сочетания двух технологий устройства свай в условиях стеснённого строительства и реконструкции

Technological Feature of the Combination of Two Technologies for Pile Driving in Conditions of Constrained Construction and Reconstruction

Шипилова Наталья Анатольевна

Доктор технических наук, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Технология, организация, экономика строительства и управления недвижимостью», ФБГОУ «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ), Россия, 350042, Краснодар, улица Московская, 2, строение 1, naer3081@mail.ru

Shipilova Natalya Anatolyevna

Doctor of Technical Sciences, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, Organization, Economics of Construction and Real Estate Management, Kuban State Technological University (KubSTU), Russia, 350042, Krasnodar, ulitsa Moskovskaya, 2, stroyenie 1, naer3081@mail.ru

Панин Никита Алексеевич

Аспирант кафедры «Технология, организация, экономика строительства и управления недвижимостью», ФБГОУ «Кубанский государственный технологический университет» (KubSTU), Россия, 350042, Краснодар, улица Московская, 2, строение 1, nikita-panin-2000@mail.ru

Panin Nikita Alekseevich

Postgraduate student of the Department of Technology, Organization, and Economics of Construction and Real Estate Management, Kuban State Technological University (KubSTU), Russia, 350042, Krasnodar, ulitsa Moskovskaya, 2, stroyenie 1, nikita-panin-2000@mail.ru

Аннотация. Факторы, описываемые в современной научной литературе и влияющие на стеснённость строительной инфраструктуры, указывают на необходимость трансформации организационно-технологических решений свайных работ, которые направлены:

- на отказ, при проектных возможностях, от свайных технологий с большим количеством дополнительных специальных машин и оборудования (автобетоносмесителей, бетононасосов, гибочных станков для арматуры, при возможности и стреловых кранов) либо, при невозможности отказа, переход на использование вилочных погрузчиков и самоходных бетононасосов на гусеничном ходу, менее габаритных буровых установок;
- на отказ при проектных возможностях от железобетонных свай и связанных с ними методов устройства, при строительстве некапитальных малоэтажных или инженерных сооружений;

Abstract. Factors described in modern scientific literature and affecting the constraints of construction infrastructure indicate the need to transform organizational and technological solutions for piling work, aimed at:

- abandoning, where design capabilities allow, piling technologies that require a large number of additional specialized machines and equipment (concrete mixer trucks, concrete pumps, rebar bending machines, and, if possible, boom cranes), or, if this is not possible, switching to the use of forklifts, tracked self-propelled concrete pumps, and smaller drilling rigs;
- abandoning, where design capabilities allow, reinforced concrete piles and associated installation methods in the construction of non-permanent low-rise or engineered structures;
- a transition to high-performance equipment that allows for

Введение

Изучение методических положений по системе технической подготовки строительства свайных фундаментов по рациональным методикам для стеснённых условий города, вызванных необходимостью исключения деформаций в существующих конструкциях и коммуникациях от вибрационных и ударных воздействий при погружении свай, показала целесообразность комбинированного

– на переход на высокопроизводительную технику, позволяющую увеличить гибкость строительного процесса и резко поднять производительность труда рабочих при строительстве.

При этом технологическая вариативность методов устройства свай для стеснённых условий и реконструкции требует развития и улучшения в плане возможности их применения на площадках, для которых характерны специфические грунтовые условия, заключающиеся в залегании слоёв с различной плотностью и сопротивлением к погружению свай, с увеличением глубины до достижения проектной отметки. Решением же этой проблематики может являться сочетание двух методов погружения свай, с учётом их технологически положительных качеств и показателей.

Ключевые слова: сваи; строительство; вдавливание; гидроподмыв; установка; методики; грунты; фундамент.

increased flexibility in the construction process and a dramatic increase in labor productivity.

At the same time, the technological variability of pile installation methods for confined spaces and reconstruction requires development and improvement to ensure their applicability on sites characterized by specific soil conditions, including layers with varying densities and pile driving resistance, with increasing pile depths until the design elevation is reached. A solution to this problem could be a combination of two pile driving methods, taking into account their technological advantages and performance indicators.

Keywords: piles; construction; pressing; hydrojetting; installation; methods; soils; foundation.

подхода в выборе технологий погружения свай. Исходя из вышесказанного, авторы статьи выделили два основных метода погружения свай, сочетание которых в перспективе будет носить вполне инновационный характер.

Материалы и методы

Если анализировать каждый из этих способов конкретнее, то технология производства свайного фундамента по методу вдавливания наиболее рациональна для

строительства в стеснённых условиях города. Она обладает наибольшим потенциалом для развития эффективности её технологии и организации, с перспективой для дальнейшего исследования. В ней имеется сочетание трёх организационно-технологических факторов:

- меньший, по сравнению с бурабавным методом, объём требуемой временной площади для монтажных площадок, на которых происходит размещение строительных машин и рабочих специалистов, при одинаковом наличии установок с большими габаритными характеристиками для обоих методов;
- большие показатели несущей способности и срока службы по сравнению с методом завинчивания, с одинаковыми для обоих методов организационно-снабженческими спецификами и количеством занимаемых площадей техникой и специалистами;
- снижение объёма дорогостоящих полевых испытаний свай и грунтов и снижение за счёт этого стоимости строительства, так как применение технологии статического вдавливания даёт возможность проводить замер усилия вдавливания каждой погружаемой сваи на каждом метре.

Использование же подмыва струёй воды для облегчения погружения свай является одним из инновационных подходов, который может повысить эффективность строительства и сократить время работ. Но для его выполнения необходимы благоприятные условия строительной площадки, то есть наличие пригодных слоёв грунта и грунтовых оснований, а также достаточного водного ресурса, что в дополнение к исследуемым условиям стеснённости городской среды создаёт по-настоящему уникальные, специфические условия строительства.

Положительные стороны метода погружения свай гидроподмывом:

- снижение лобового сопротивления грунта и уменьшение бокового трения, что обеспечивает более эффективное и быстрое погружение свай;
- эффективность метода в основном в несвязных и малосвязных грунтах, которые хорошо поддаются размыву водой;
- погружение подмывом в песчаных и супесчаных грунтах иногда производится без погружающего оборудования, т. е. только под действием собственного веса сваи и подмыва.

Отдельно стоит отметить некоторые аспекты двух методик:

- часто способ подмыва комбинируют с ударным способом, что в условиях стеснённого строительства не является рациональным в связи с возможными деформациями рядом стоящих зданий и их грунтовых оснований;
- метод вдавливания обеспечивает повышенную несущую способность и надёжность всего свайного поля за счёт отсутствия микротрещин в бетоне тела вдавленных свай и разрушения их оголовков, неизбежно возникающих в процессе устройства свайных фундаментов ударными методами;
- в месте вдавливания сваи происходит уплотнение или смятие грунта, а также вытеснение грунта из-под острия сваи.

Таким образом, авторы предлагают сочетание технологии вдавливания и метода гидроподмыва, которое активно применяется при погружении шпунтовых свай, но

не адаптировано для устройства готовых заводских железобетонных свай при строительстве в условиях стеснённости – при наличии слабых верхних слоёв грунта, которые будут пройдены сваей благодаря технологии гидроподмыва, и более плотных, твёрдых нижних слоёв, в которые погружение продолжится методом вдавливания.

Данное сочетание технологий требует экспериментального усовершенствования сваевдавляющих установок путём включения дополнительных устройств-форсунок подмыва свай. Это сочетание уже получило реализацию для вдавливания шпунтовых свай и стало одним из инновационных и эффективных способов погружения шпунта в песчаных и гравийных грунтах (рисунок 1) [1].

Принцип технологии заключается в использовании струи воды высокого давления, подаваемой на форсунки, закреплённые в зоне пяты погружаемой шпунтовой сваи, с дальнейшим размытием грунта перед пятой сваи при погружении. Размыв грунта прекращается, не доходя до проектной отметки, для надёжной фиксации нижней части шпунтовой сваи в прочных грунтах путём вдавливания.

В данной работе предлагается адаптировать эту технологию для погружения готовых железобетонных свай в первичный слой слабых, рыхлых грунтов, а далее – в более плотные, как было описано ранее. Для этого рассмотрим устройство обычной установки вдавливания готовых железобетонных свай заводского изготовления на примере сваевдавляющей установки СО-450 (рисунок 2).

Как видно из приведённой схемы на рисунке 2, построенной на основе изучения различных научных источников на данную тематику [2; 3; 4], строительство на площадке с залеганием таких слоёв грунта производится вдавливанием без применения подмыва верхних слоёв. То есть верхний слабый слой также проходит сваей методом вдавливания, что требует затрат ресурсов на работу установки и времени для прохождения этих грунтов.

Поэтому авторами в данной работе была поставлена задача рационализировать и усовершенствовать техноло-



Рис. 1. Установка для вдавливания шпунтовых свай с применением гидроподмыва

Fig. 1. Installation for driving sheet piles using hydrojetting

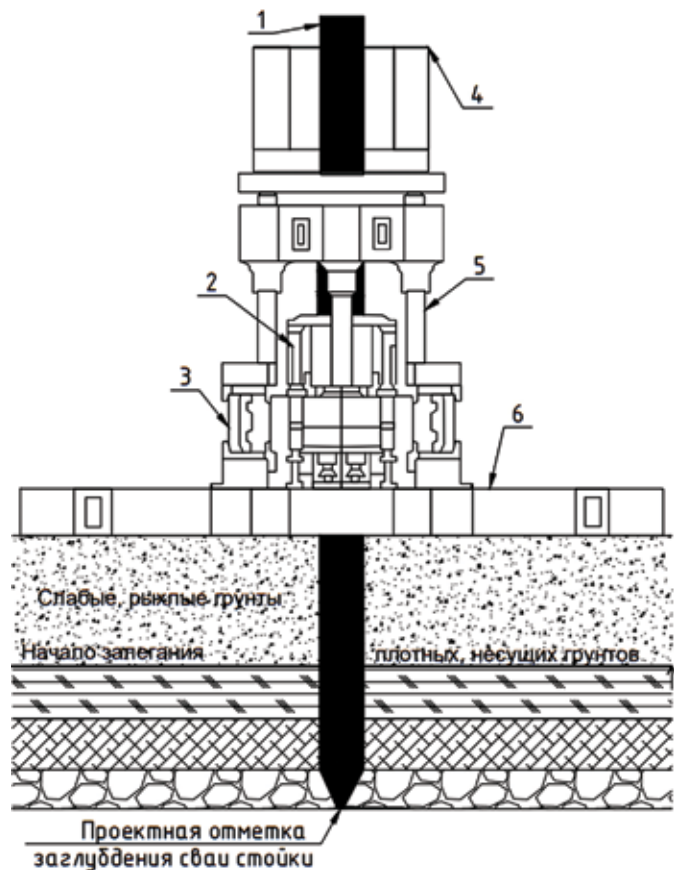


Рис. 2. Схема устройства конструкции сваевдавливательной установки СО-450 с послойным разграничением грунтов площадки строительства: 1 – вдавливаемая свая, 2 – система бокового клинового захвата; 3 – вдавливающая головка, 4 – верхнее ограждение; 5 – гидроцилиндры, 6 – грузовая рама
Fig. 2. Diagram of the structure of the CO-450 pile driving machine with layer-by-layer delineation of the construction site: 1 – driven pile, 2 – lateral wedge grip system, 3 – driving head, 4 – upper guard, 5 – hydraulic cylinders, 6 – load frame

гию вдавливания готовых железобетонных свай по этим направлениям, что для условий стеснённого строительства имеет большое значение, так как проблематика снабжения строительной площадки имеет особое значение для исследуемых условий. Таким образом, в конструкцию установки, приведённой ранее, предлагается включить нагнетательные трубки подмыва и напорный трубопровод (рисунок 3) для воды, характерный для установок погружения гидроподмывом. Верхние слои слабых грунтов будут размываться, и свая либо пройдёт их под собственным весом, либо дополнительно подключится сваевдвливающая установка, которая заменит ударный молот, который стандартно сочетается с гидроподмывом; это, в свою очередь, исключит вибрации, передаваемые в грунтовые основания близлежащих построек, и предотвратит выпучивание и выдавливание грунта, так как он будет вымываться наружу – наверх. Таким образом получится совместить две методики погружения свай в одной установке.

Далее стоит отметить полученные и оптимизированные показатели процесса погружения свай при сочетании двух описываемых методов в одной установке, для этого были применены многофакторные математические модели технико-экономических показателей погружения свай гидроподмывом с последующим вдавливанием. Данные модели были опробованы в диссертации Есиной Н. А. [5], модели продемонстрировали высокие показатели точности и большое количество вариаций [6; 7]. Для настоящей

работы базой данных служили инженерные отчёты испытаний погружения свай различного диаметра методом гидроподмыва в Краснодарском крае от специализирующихся организаций.

Обратим внимание, что из названного в таблице 1 значительного числа показателей в модель в качестве значимых вошли всего 3 показателя, но они позволяют объяснить 99,99 % вариаций результирующего показателя T_s . Коэффициент множественной корреляции превышает 0,9999, а стандартная ошибка оценивается в 0,80 %. Всё это свидетельствует об очень высоком качестве модели.

Зависимость продолжительности погружения свай вдавливанием без применения гидроподмыва, с учётом толщины слоя, группы грунтов и их сопротивляемости, показана на рисунке 4.

Из рисунка 4 видно, что на продолжительность погружения вдавливания в определённой мере влияет толщина слоёв, а также существенно влияет величина расчётного сопротивления грунта, которая зависит от их плотности.

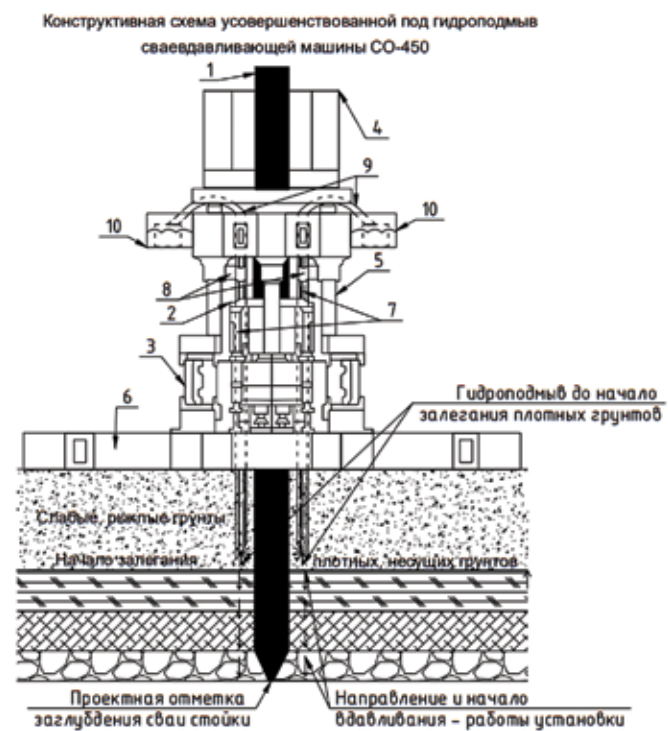


Рис. 3. Схема устройства конструкции, усовершенствованной гидроподмывом сваевдавливательной установки СО-450, с послойным разграничением грунтов площадки строительства и началом каждого из технологических этапов погружения: 1 – вдавливаемая с гидроподмывом свая; 2 – система бокового клинового захвата; 3 – вдавливающая головка; 4 – верхнее ограждение; 5 – гидроцилиндры; 6 – грузовая рама; 7 – встроенные в установку вдавливания подмывные трубки; 8 – видимые металлические крепления подмывных трубок к корпусу установки; 9 – основной трубопровод нагнетания воды для гидроподмыва; 10 – резервуары, закреплённые на установке со встроенными насосами для нагнетания воды
Fig. 3. Diagram of the structure of the advanced hydraulic lifting pile installation SO-450 with a layer-by-layer separation of the soils of the construction site and the beginning of each of the technological stages of immersion: 1 – a pile pressed with hydraulic lifting; 2 – a side wedge gripping system; 3 – an indentation head; 4 – upper guard; 5 – hydraulic cylinders; 6 – cargo frame; 7 – flushing tubes built into the pressure installation; 8 – visible metal fasteners of the flushing tubes to the installation body; 9 – the main water injection pipeline for hydraulic flushing; 10 – tanks mounted on the installation with built-in pumps for pumping water

Уравнение регрессии	Значимость переменной, %
$T_s = 0,0$	
$+ 0,007938948E-0003 \cdot R \cdot R \cdot H_n$	54,35
$+ 0,6417262E-0001 \cdot H_n$	22,65
$- 0,009478063E-0003 \cdot R \cdot H_n \cdot H_n$	22,1
$- 0,1411594E-0001 \cdot T_s \cdot T_s \cdot H_n$	12,34
$- 0,04343119E-0002 \cdot T_s \cdot H_n \cdot H_n$	8,34
$+ 0,02866914E-0002 \cdot H_n \cdot H_n$	4,36

Табл. 1. Модель продолжительности погружения свай при простом вдавливании, без применения гидроподмыва
Tab. 1. Pile sinking duration model for simple pressing, without hydraulic washing

Это приводит к выводу, что сопротивление будет меньшим при процессе подмыва грунтов.

Последующее моделирование продолжительности процесса погружения свай вдавливанием с гидроподмывом выполнено с учётом основных факторов, имеющих наибольшее влияние на продолжительность подмыва. При этом из названного в таблице 2 значительного числа показателей в модель в качестве значимых вошли всего 5 показателей, но они позволяют объяснить 99,99 % вариаций результирующего показателя T_s . Коэффициент множественной корреляции превышает 0,9999, а стандартная ошибка оценивается в 0,6 %. Всё это характеризует модель как очень высокого качества.

Зависимость продолжительности погружения свай вдавливанием с применением гидроподмыва, с учётом толщины слоя, группы грунтов и их сопротивляемости, показана на рисунке 5.

Результаты

Модели, приведённые и разработанные авторами в данной статье, дают объяснение 99 % вариаций продолжительности погружения свай вдавливанием с гидроподмывом. В них учитываются основные факторы, влияющие на продолжительность погружения. Построенные модели обладают ошибками в 1–2 %, а их коэффициент множественной корреляции превышает 0,99. Разработанная методика погружения свай вдавливанием с гидроподмывом весьма перспективна для дальнейшего разви-

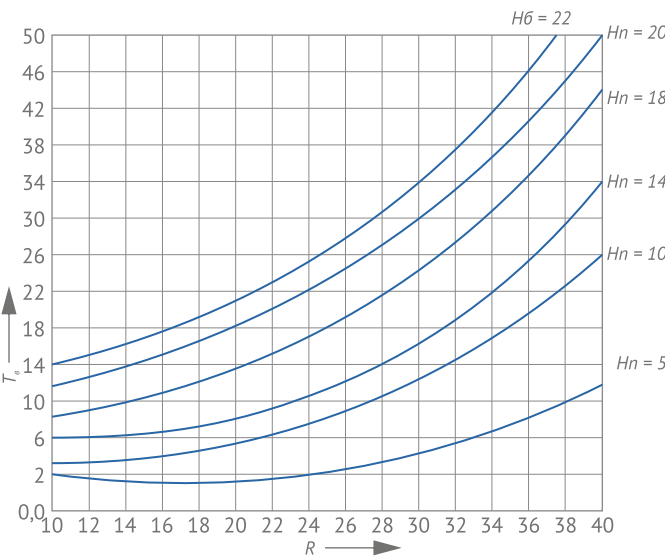


Рис. 4. Зависимость продолжительности погружения свай вдавливанием без применения гидроподмыва в сваевдавливательной установке
Fig. 4. Dependence of the duration of pile driving by impact without the use of hydraulic washing in the pile driving unit

Уравнение регрессии	Значимость переменной, %
$T_s = + 30,98921$	
$- 6,792290 \cdot R$	47,56
$+ 0,009916867 \cdot R_s \cdot L$	37,8
$- 0,0001332322 \cdot A \cdot A$	26,43
$+ 0,1818831 \cdot R \cdot R$	24,7
$+ 2,185234 \cdot H_n$	17,56
$- 0,3091114 \cdot R \cdot R_n$	14,187
$- 0,06157904 \cdot R \cdot H_n$	13,69
$+ 0,1878834 \cdot H_n \cdot H_n$	10,986
$- 0,03874507 \cdot H_n \cdot H_n$	9,6
$- 1,183460 \cdot T_s$	5,94
$- 0,4576340 \cdot T_s \cdot H_n$	2,74
$+ 0,03211143 \cdot T_s \cdot H_n$	0,325

Табл. 2. Модель продолжительности погружения свай вдавливанием с применением гидроподмыва
Tab. 2. Pile immersion duration model with hydraulic jetting and injection of hardening mortar

тия. Она не имеет колоссального отличия от погружения шпунтовых свай по аналогичной технологии и зависит в большей степени от глубины погружения, что стандартно для устройства свай. Именно глубина погружения и является тем фактором, из-за которого и увеличивается сопротивление погружению, и, как следствие, количество необходимой воды для подмыва, а также мощность вдавливания. Сопротивление грунта, в свою очередь, обладает не меньшей значимостью для процесса вдавливания, но на нивелирование этого фактора и направлено включение гидроподмыва. Это уменьшает плотность слабых грунтов и, как итог, обеспечивает более рациональные показатели времени погружения. Разработанные модели показывают это и позволяют сделать обширные выводы о плюсах разработанной методики, заключающейся в сочетании двух технологий для погружения свай.

Обсуждение и заключение

Усовершенствованная методика вдавливания гидроподмывом более оптимальна для исследуемых условий при наличии описанных ранее слоёв грунта и не требует затрат на бурение, армирование и бетонирование или

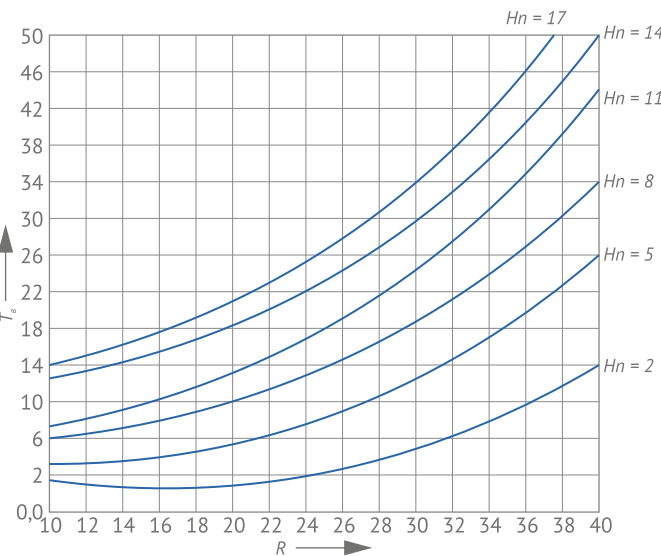


Рис. 5. Зависимость продолжительности погружения свай вдавливанием с применением гидроподмыва в сваевдавливательной установке
Fig. 5. Dependence of the duration of pile driving by pressing with the use of hydro-blasting in a pile-driving unit

производство земляных работ, которые, согласно источникам [8], требовательны к временным и рабочим ресурсам, нуждаются в грамотном планировании, организации и контроле производства. Она исключает вибрационное

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукина, Н. Л. Выбор метода погружения шпунта при берегоукреплении в условиях плотной городской застройки / Н. Л. Лукина // Инженерный Вестник Дона. – 2022. – № 11. – URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n11y2022/7996>.
2. Полищук, А. И. Совершенствование способа устройства свай вдавливанием на площадках городской застройки / А. И. Полищук, С. С. Нуйкин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 52–59. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21615054>.
3. Понамаренко, Ю. Е. Опыт применения оборудования для погружения свай вдавливанием в г. Омске / Ю. Е. Понамаренко, А. С. Нестеров // Омский научный вестник. – 2009. – № 3. – С. 145–148.
4. Попсуенко, И. К. Применение безударных технологий устройства свай / Попсуенко И. К., Зайцев А. Н. // ООО «Свай-сервис», elitgeo.ru : [корпоративный сайт]. – URL: <http://elitgeo.ru/publikatsii/primenenie-bezudarnykh-tekhnologij-ustroystva-svaj/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lukina, N. L. Vybor metoda pogruzheniya shpunta pri beregoukrepnenii v usloviyakh plotnoj gorodskoj zastroyki [The choice of a tongue-and-groove immersion method for shore reinforcement in conditions of dense urban development] / N. L. Lukina // Inzhenernyj Vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. – 2022. – No. 11. – URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n11y2022/7996>.
2. Polishchuk, A. I. Sovershenstvovanie sposoba ustrojstva svaj vdavlivaniem na ploshhadkakh gorodskoj zastroyki [Improvement of the method of building piles by indentation on urban development sites] / A. I. Polishchuk, S. S. Nuiкин // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture]. – 2014. – No. 3. – Pp. 52–59. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21615054>.
3. Ponamarenko, Yu. E. Opyt primeneniya oborudovaniya dlya pogruzheniya svaj vdavlivaniem v g. Omske [The experience of using equipment for dipping piles by indentation in Omsk] / Yu. E. Ponamarenko, A. S. Nesterov // Omskij nauchnyj vestnik [Omsk Scientific Bulletin]. – 2009. – № 3. – Pp. 145–148.
4. Popsuenko, I. K. Primenenie bezudarnykh tekhnologij ustrojstva svaj [The application of shock-free technologies for pile construction] / Popsuenko I. K., Zaitsev A. N. // ООО «Свайсервис» [Svaystrojsservis LLC], elitgeo.ru : [corporate website]. – URL: <http://elitgeo.ru/publikatsii/primenenie-bezudarnykh-tekhnologij-ustrojstva-svaj/>.
5. Yesina, N. A. Formirovanie sistemy pokazatelej ekonomicheskoy otsenki stroitel'stva svajnykh fundamentov

воздействие и упрощает погружение свай на начальных этапах производства работ. Данная методика усовершенствования установки весьма перспективна и требует дальнейшего изучения и модернизации.

5. Есина, Н. А. Формирование системы показателей экономической оценки строительства свайных фундаментов в мерзлых грунтах : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Есина Наталья Анатольевна ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2005. – 193 с.
6. Методика обоснования продолжительности бурения скважин и погружения свай / С. М. Кузнецов, Н. А. Шипилова, А. Е. Сусь, Е. В. Момот, К. А. Пашкова // Экономика железных дорог. – 2017. – № 7. – С. 67–72.
7. Обоснование продолжительности погружения свай / А. Е. Сусь, Е. В. Момот, К. А. Пашкова, Н. А. Шипилова, С. М. Кузнецов // Механизация строительства. – 2017. – Т. 78, № 9. – С. 53–58.
8. Чебанова, С. А. Особенности организации строительной площадки в стеснённых условиях городской застройки со сложными грунтами / С. А. Чебанова, В. Г. Поляков, В. С. Ступницкий // Научные исследования высшей школы в области строительства и архитектуры : сборник статей Международной практической конференции, Новосибирск, 5 февраля 2018 г. – Уфа, 2018. – С. 135–138.

- v myorzlykh gruntakh : dis. ... kand. ehkon. nauk : 08.00.05 [Formation of a system of indicators for the economic assessment of the construction of pile foundations in frozen soils : dis. ... Candidate of Economic Sciences : 08.00.05] / Yesina Natalia Anatolyevna ; Sibirskij gosudarstvennyj universitet putej soobshheniya [Siberian State University of Railway Transport]. 0–Novosibirsk, 2005. 193 p. (in Russian).
6. Metodika obosnovaniya prodolzhitel'nosti bureniya skvazhin i pogruzheniya svaj [Methodology for substantiating the duration of drilling wells and sinking piles] / S. M. Kuznetsov, N. A. Shipilova, A. E. Sus, E. V. Momot, K. A. Pashkova // Ehkonomika zheleznykh dorog [Railway economics]. – 2017. – No. 7. – Pp. 67–72.
7. Obosnovanie prodolzhitel'nosti pogruzheniya svaj [Substantiation of the duration of pile sinking] / A. E. Sus, E. V. Momot, K. A. Pashkova, N. A. Shipilova, S. M. Kuznetsov // Mekhanizatsiya stroitel'stva [Mechanization of construction]. – 2017. – Vol. 78, No. 9. – Pp. 53–58.
8. Chebanova, S. A. Osobennosti organizatsii stroitel'noj ploshhadki v stesnyonnykh usloviyakh gorodskoj zastroyki so slozhnymi gruntami [Features of the organization of a construction site in cramped urban conditions with difficult soils] / S. A. Chebanova, V. G. Polyakov, V. S. Stupnitsky // Nauchnye issledovaniya vysshej shkoly v oblasti stroitel'stva i arkhitektury : sbornik statej Mezhdunarodnoj prakticheskoy konferentsii, Novosibirsk, 5 fevralya 2018 g. [Scientific research of higher education in the field of construction and architecture : a collection of articles of International practical Conferences, Novosibirsk, February 5, 2018]. – Ufa, 2018. – Pp. 135–138.

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: Лapidус 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 3 (55) 2025
Дата публикации: 29 сентября 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 вёрстка: Соколов А. Е.



Телефон: +7 (495) 162 61 02
e-mail: info@build-pro.press
сайт журнала: www.build-pro.press

127018, РФ, Москва, Суцёвский Вал,
д. 16, стр. 5, этаж 4, кабинет 405
сайт издательства: www.mosnec.com

© Редакция научно-технического журнала «Строительное производство», 2025